

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017

Bc. Lukáš Kupka



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**PLATFORMA PRO ZPRACOVÁNÍ DAT Z  
EXPERIMENTÁLNÍ MOBILNÍ SÍTĚ LTE-A**

DATA PROCESSING OF CAPTURED RADIO PARAMETERS IN LTE-A SYSTEM

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Lukáš Kupka**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Pavel Mašek**

**BRNO 2017**



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Lukáš Kupka

**ID:** 154784

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

## Platforma pro zpracování dat z experimentální mobilní sítě LTE-A

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V diplomové práci bude pozornost soustředěna na seznámení se s experimentální mobilní sítí LTE-A na VUT v Brně, která nabízí unikátní možnosti testování služeb nabízených mobilními operátory. V praktické části diplomové práce bude provedeno měření rádiových parametrů (RSRP, RSRQ, SINR, RSSI, ...) a zmapování struktury ukládaných dat z použitého rádiového frekvenčního analyzátoru R&S TSMW. Na základě struktury dat bude proveden návrh databáze a logiky pro export dat z analyzátoru pro pozdější zpracování (zobrazení dat, filtrování jednotlivých časových úseků). Vytvořená aplikace pro analýzu zachycených dat bude vytvořena v programovacím jazyce Java.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] JOHNSON, Chris. Long term evolution: IN BULLETS. 2nd ed. Northampton: CreateSpace, 2012, 592 s. ISBN 978-1478166177.

[2] AHMADI, Sasan. 2013. LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Technologies. Oxford: Academic Press. ISBN 978-0124051621.

**Termín zadání:** 1.2.2017

**Termín odevzdání:** 24.5.2017

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Mašek

**Konzultant:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu rádiových podmínek mobilních sítí LTE-A při použití uvnitř budov. V rámci práce je provedeno měření rádiové části experimentální sítě LTE-A od firmy Huawei za pomoci spektrálního analyzátoru R&S TSMW. Výsledky jsou zpracovány a diskutovány. V praktické části diplomové práce je dále vytvořen program pro automatické zpracování dat z analyzátoru R&S TSMW.

## KLÍČOVÁ SLOVA

LTE-A, mobilní komunikace, rádiová síť, zpracování dat

## ABSTRACT

Diploma thesis is focused on an analysis of radio conditions of indoor LTE-A mobile networks. Measurements of the Huawei LTE-A radio access network were performed using the R&S TSMW spectral analyser. Results have been processed and discussed. The practical part of diploma thesis also consists of a development of a program for processing the data sets obtained from R&S TSMW spectral analyzer.

## KEYWORDS

Data processing, LTE-A, mobile communications, radio network

KUPKA, Lukáš *Platforma pro zpracování dat z experimentální mobilní sítě LTE-A*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 51 s. Vedoucí práce byl Ing. Pavel Mašek

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Platforma pro zpracování dat z experimentální mobilní sítě LTE-A“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Pavlu Maškovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....  
podpis autora(-ky)

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Vývoj mobilních technologií</b>	<b>13</b>
1.1 Sítě druhé generace (2G) . . . . .	13
1.2 Sítě třetí generace (3G) . . . . .	14
1.3 Sítě čtvrté generace (4G) . . . . .	14
1.3.1 Architektura sítě . . . . .	15
1.3.2 Využité technologie . . . . .	16
<b>2 Experimentální síť LTE-A na VUT</b>	<b>17</b>
2.1 Přístupová síť . . . . .	17
2.2 EPC . . . . .	18
2.3 IMS . . . . .	19
<b>3 Rádiový analyzátor R&amp;S TSMW</b>	<b>20</b>
3.1 Technologie MIMO . . . . .	21
3.2 Interference a rušení . . . . .	21
3.3 Metodika měření . . . . .	22
<b>4 Měření rádiových podmínek</b>	<b>24</b>
4.1 Konfigurace sítě . . . . .	24
4.2 Použité antény . . . . .	24
4.3 Výsledky měření . . . . .	26
4.3.1 Měření všesměrovou anténou . . . . .	26
4.3.2 Měření směrovou anténou . . . . .	29
4.4 Srovnání výsledků s mobilním telefonem . . . . .	32
<b>5 Platforma pro zpracování dat</b>	<b>36</b>
5.1 Struktura dat na výstupu analyzátoru . . . . .	36
5.2 Parser . . . . .	38
5.2.1 Načtení vstupních dat . . . . .	39
5.2.2 Uživatelské rozhraní . . . . .	41
5.2.3 Zpracování dat a jejich export . . . . .	43
<b>6 Závěr</b>	<b>47</b>
<b>Literatura</b>	<b>49</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>50</b>





# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Architektura sítě LTE [3]. . . . .	16
2.1	Schéma experimentální mobilní LTE-A sítě na FEKT VUT [5]. . . . .	17
2.2	Pokrytí Ústavu telekomunikací rádiovým signálem sítě LTE-A. . . . .	18
2.3	Pokrytí Ústavu telekomunikací rádiovým signálem sítě WiFi. . . . .	19
3.1	Pohled na přední a zadní stranu analyzátoru R&S TSMW [7]. . . . .	20
3.2	Plánek Ústavu telekomunikací a rozmístění měřících bodů včetně polohy eNB. . . . .	22
3.3	Mobilní pracoviště s analyzátelem R&S TSMW. . . . .	23
4.1	Směrové charakteristiky použitých antén. . . . .	25
4.2	Hodnota parametru WB RSSI v jednotlivých bodech měření. . . . .	26
4.3	Hodnota parametru WB RSRP v jednotlivých bodech měření. . . . .	27
4.4	Hodnota parametru WB RSRQ v jednotlivých bodech měření. . . . .	28
4.5	Hodnota parametru WB RS-SINR v jednotlivých bodech měření. . . . .	28
4.6	Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSSI všesměrovou a směrovou anténou. . . . .	29
4.7	Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSRP všesměrovou a směrovou anténou. . . . .	30
4.8	Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSRQ všesměrovou a směrovou anténou. . . . .	31
4.9	Srovnání naměřených hodnot parametru WB SINR všesměrovou a směrovou anténou. . . . .	31
4.10	Srovnání hodnot parametru RSSI naměřených analyzátelem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření. . . . .	32
4.11	Srovnání hodnot parametru RSRP naměřených analyzátelem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření. . . . .	33
4.12	Srovnání hodnot parametru RSRQ naměřených analyzátelem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření. . . . .	33
4.13	Srovnání hodnot parametru SNR naměřených analyzátelem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření. . . . .	34
4.14	Rychlost uploadu a downloadu mobilního telefonu Samsung S4 v jednotlivých bodech měření. . . . .	34
5.1	Nastavení exportovaného souboru ASCII v programu ROMES . . . . .	37
5.2	Stavový diagram programu ROMES parser . . . . .	39
5.3	Dialogové okno pro výběr vstupního souboru . . . . .	40

5.4	Grafické uživatelské rozhraní aplikace . . . . .	42
-----	--	----

## SEZNAM TABULEK

1.1	Srovnání parametrů sítí jednotlivých generací. . . . .	15
3.1	Parametry signálu vzhledem k šířce pásma [6]. . . . .	22
4.1	Konfigurace základnových stanic eNodeB. . . . .	24
4.2	Parametry použitých antén. . . . .	25

# ÚVOD

Diplomová práce se zaměřuje na síť čtvrté generace LTE-A (Long Term Evolution Advanced), které zatím nejsou v komerční sféře v plném provozu. Zvláštní pozornost je poté věnována zejména instalaci rádiových jednotek uvnitř budov.

Pro obsluhu rostoucího množství uživatelů, kteří vyžadují stejnou kvalitu mobilního připojení v interiérech i exteriérech, se instalují základnové stanice těchto sítí přímo uvnitř budov. Interiérové buňky bývají zpravidla jinak nakonfigurovány a vytváří tak odlišné rádiové podmínky.

Dochází totiž k odlišnému chování rádiového signálu, než tomu je ve volném prostoru. Do šíření signálu zasahují stavební prvky a snadněji dochází k interferencím. Na analýzu rádiových podmínek uvnitř budov se tato práce blíže zaměřuje.

K dispozici bude experimentální mobilní síť typu LTE-A nainstalována přímo na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. V případě této experimentální sítě lze konfigurovat parametr TX power pro kanál downlink a také uplink, čímž lze ovlivnit chování signálu v úzkých chodbách a především zkoumat interference mezi dílčími buňkami sítě.

Díky dostupnosti sítě přímo v budově univerzity může být v první fázi práce provedeno měření parametrů rádiové části sítě. Pro měření bude použit analyzátor R&S TSMW ve dvou konfiguracích s odlišným modelem antény. Jelikož jsou základnové stanice umístěny na chodbách Ústavu telekomunikací, pozornost bude zaměřena především na jejich vzájemné interference.

Výsledky budou v praktické části práce řádně prezentovány a výsledky budou diskutovány. Naměřené hodnoty z analyzátoru R&S TSMW budou rovněž porovnány s hodnotami naměřenými sériovým mobilním telefonem Samsung Galaxy S4.

Dalším předmětem praktické části práce bude vytvoření platformy pro zpracování dat z analyzátoru. Datový výstup z tohoto přístroje totiž musí být nejprve zpracován a hodnoty všech parametrů musí být upraveny do použitelné podoby pro zpracování do grafů. Jejich manuální zpracování by bylo časově velmi náročné. Za tímto účelem bude vytvořen program, který tuto část práce umožní zautomatizovat.

# 1 VÝVOJ MOBILNÍCH TECHNOLOGIÍ

Na přelomu minulého tisíciletí se ke koncovým uživatelům dostávaly technologie jako GSM (Global System for Mobile), vytáčené připojení k Internetu nebo textové zprávy, ale také první webové prohlížeče, které dokázaly zobrazit grafický obsah. Dostupný obsah na Internetu ale stále tvořily převážně velké zpravodajské weby a IT organizace, většina uživatelů tak obsah spíše konzumovala než, že by jej vytvářela [1].

## 1.1 Sítě druhé generace (2G)

V průběhu devadesátých let minulého století začaly vznikat první digitální služby, často také označované jako sítě 2G (druhé generace). GSM sítě dosahovaly rychlosti 9,6 kb/s nebo 14,4 kb/s v instalacích s využitím technologie přepojování okruhů. Tohoto připojení ale využívalo jen velmi málo lidí, ať už z důvodu vysoké ceny nebo chybějících zařízení, která by mobilní data uměla využít. Touha po mobilním připojení k Internetu, ale motivovala poskytovatele nabídnout Internet do mobilních zařízení bez potřeby stolního počítače připojeného do sítě pomocí technologie Ethernet. Jako první začala mobilní síť propagovat zařízení PDA (Personal Digital Assistant), která nabízela webový prohlížeč a e-mailového klienta [1].

V roce 2001 byla pro širší veřejnost představena technologie GPRS (General Packet Radio Service) využívající technologie s přepínáním paketů. S příchodem prvních mobilních telefonů podporujících tyto sítě se mobilní data stala mnohem využívanější. Telefony ale stále disponovaly malými monochromatickými displeji, které zabraňovaly většímu rozvoji internetových služeb [1].

Vývoj mobilních zařízení ovšem pokročil a okolo roku 2005 do středního segmentu dostupnějších zařízení pronikaly telefony s větším barevným displejem a především vyšším rozlišení. V této době se tak již hovoří o skutečně mobilním přístupu k Internetu, čemuž samozřejmě napomohl také příchod vylepšené technologie EDGE (Enhanced Data-rates in GSM Environment) s přenosovou rychlostí až 384 kb/s [1].

Obě technologie GPRS i EDGE se nicméně stále opírají o GSM, které zprvu bylo navrženo pouze pro hlasové hovory a pro přenos internetových dat není primárně určeno. Implementace těchto přenosových technologií do sítě GSM však nebyla příliš komplikovaná, jelikož využívají stejnou modulační techniku a strukturu TDMA (Time Division Multiple Access) rámce a 200 kHz odstup nosných frekvencí [1].

## 1.2 Síť třetí generace (3G)

Požadavek po rychlejším a efektivnějším připojení dal vzniknout sítím třetí generace (3G) vyhovující standardům IMT-2000 vydaných unií ITU (International Telecommunication Union). Do nového standardu spadají technologie jako UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), používané zejména v Evropě, nebo CDMA2000 rozšířený především v Severní Americe. UMTS zastřešuje 3G standard, který využívá širokopásmové W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) pro datové přenosy a GSM síť pro hlasové služby. Na rozdíl od toho CDMA2000 slučuje obě služby do jedné sítě a využívání GSM pro hlasové služby již není nutné [1], [2].

Typická rychlost pro tyto sítě se pohybuje od 2 Mb/s do 4 Mb/s pro stahování dat a pro odchozí data je k dispozici rychlost od 0,75 Mb/s do 1,5 Mb/s. Další vývoj těchto sítí přinesl technologii HSPA (High Speed Packet Access), která je schopna nabídnout přenosové rychlosti až 14,4 Mb/s pro stahování a pro nahrávání až 5,8 Mb/s [2].

Technologii HSPA dále rozvíjí 3GPP vydání 7, které se nazývá také HSPA+ (High Speed Packet Access evolved). Stahování zde dosahuje rychlostí až 168 Mb/s a nahrávání dat 22 Mb/s. HSPA+ rovněž podporuje technologii  $2 \times 2$  MIMO (Multiple Input Multiple Output) a více řádovou modulaci 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) [2].

Vývoj jde ale stále dopředu a požadavky na rychlejší připojení a cíl integrovat všechny služby do jednoho standardu splňují síť čtvrté generace (4G). Jako síť čtvrté generace je dnes označován i standard LTE (Long Term Evolution), nicméně se jedná jen o marketingový tah poskytovatelů, jelikož dnes používané sítě LTE jen vylepšují předchozí generaci UMTS/CDMA 2000 [2].

Nedochází tak k zahrnutí všech služeb do jedné sítě, ale při hlasových hovorech dojde k tzv. fallbacku, který telefon přepojí na síť 3G, přes kterou se hovor uskuteční. Pakliže se hlasová data přenášejí přes LTE síť, stejně jako například internetová data, hovoří se o VoLTE (Voice over LTE). Skutečné sítě 4G přichází až s technologií LTE-A (LTE Advanced), na kterou se soustředí i tato diplomová práce [2].

## 1.3 Síť čtvrté generace (4G)

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, technologie LTE se ve svém vydání 8 a 9 nepovažuje za síť čtvrté generace. Za 4G síť můžeme považovat až vydání 10 a výše, kde se již hovoří o LTE-Advanced. Nicméně se nejedná o dvě odlišné technologie a základní principy obou vydání zůstávají stejné. Mezi hlavní rozdíly oproti předchozím generacím patří přechod na tzv. komunikaci "All-IP" a snaha o minimalizaci

počtu prvků sítě. V tabulce 1.1 jsou parametry sítí jednotlivých generací přehledně srovnány [2].

Tab. 1.1: Srovnání parametrů sítí jednotlivých generací.

Generace	1G	2G	3G	4G	5G
Nasazení	1970-1980	1990-2001	2001-2010	2011-současnost	Po roce 2020
Přenosové rychlosti	2 kb/s	9,6-64 kb/s	2 Mb/s	200 Mb/s-1 Gb/s	1 Gb/s +
Technologie	Analogové	Digitální (přepínání paketů, přepínání okruhů)	Digitální (CDMA 2000, UMTS, EDGE)	Digitální (WiMAX, LTE, WiFi)	Založeno na IP (kombinace LAN, PAN, MAN, WLAN)
Služby	Analogový přenos hlasu, žádné digitální služby	SMS, MMS	IPTV, VoIP, Web	HDTV, IP telefonie (VoLTE), M2M	IoT, M2M
Multiplex	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Standardy	MTS, AMTS, IMTS	2G: GSM, 2.5G: GPRS, 2.75G: EDGE	IMT-2000, 3.5G: HSDPA, 3.75G: HSUPA	LTE, WiMAX	Jednotný standard (All IP)

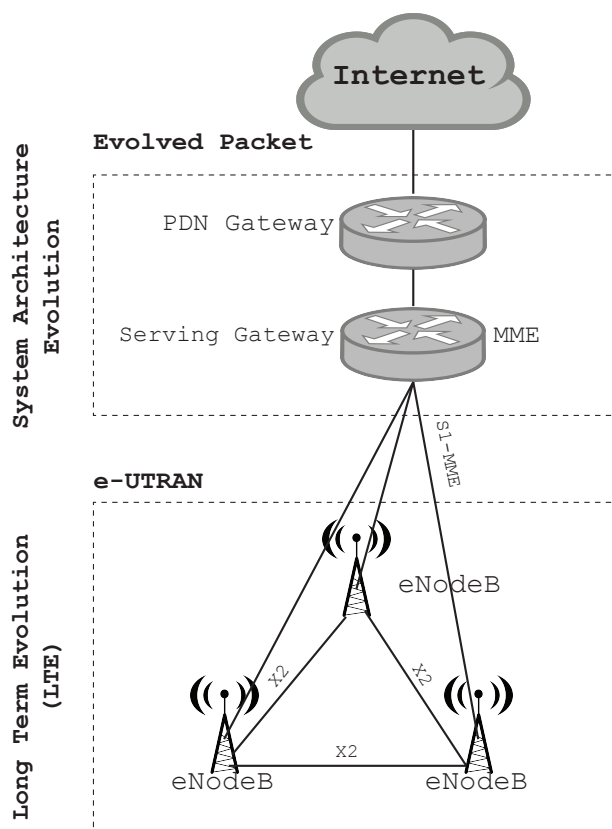
### 1.3.1 Architektura sítě

Základní architektura LTE sítí se skládá z tzv. EPC (Evolved Packet Core) a e-UTRAN (evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) sítě, viz obrázek 1.1. Do sítě e-UTRAN se řadí základnové stanice BTS (Base Transceiver Station), které slouží pro připojení mobilních terminálů do celé sítě. V sítích LTE se BTS mohou nazývat také eNodeB (e-UTRAN Node B) [3], [4].

Základnové stanice eNodeB jsou navzájem propojeny a připojeny do sítě EPC, která zajišťuje sloučení hlasových a datových služeb. Zde se odehrává hlavní přínos LTE sítí, kde není zapotřebí tyto data rozlišovat, ale všechny pro přenos využívají stejnou síť. Součástí EPC sítě jsou také prvky MME (Mobility Management Entity)



zajišťující autentizaci uživatelů a správu stavů relací. Pomocí S-gateway jsou data směrována skrze přístupovou síť. Vnější komunikaci obsluhuje PDN Gateway (Packet Data Node Gateway). PDN Gateway tak tvoří rozhraní mezi vnějšími sítěmi a LTE, zajišťuje kvalitu služeb a provádí inspekci paketů [3], [4].



Obr. 1.1: Architektura sítě LTE [3].

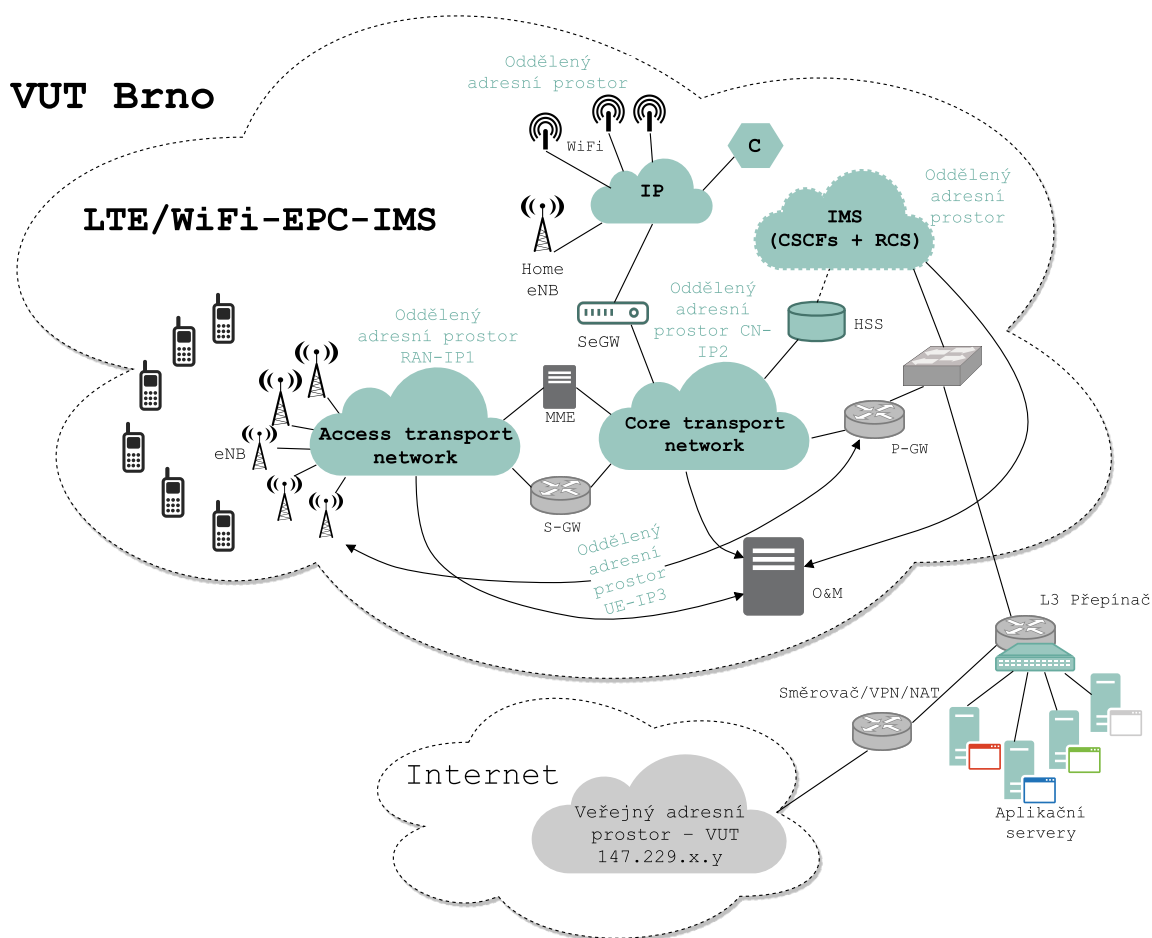
### 1.3.2 Využité technologie

Jednou z hlavních změn a vylepšení je použití modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Tato širokopásmová modulační technika pro přenos využívá nosnou frekvenci a několik subnosných rozprostřených v celém spektru, které jsou dále modulovány pomocí QPSK nebo 16/64-QAM [3].

Znásobení přenosových rychlostí umožňuje implementovaná technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output). Terminály s podporou MIMO mohou se základnovými stanicemi komunikovat s využitím více antén. Každá z nich potom může být využita pro zvláštní datový stream [3].

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ SÍŤ LTE-A NA VUT

Nasazení sítě LTE-A v komerčním provozu se teprve plánuje a v současné době stále probíhá testování a příprava nynějších sítí na přechod na novější standardy. Pro účely výzkumu a užší spolupráce mezi firmami a VUT byl vypsán požadavek na vyhotovení experimentální sítě LTE-A Release 10 přímo v budově školy. Vybudování bylo provedeno firmou Huawei během roku 2013. Schéma experimentální mobilní sítě LTE-A je znázorněno na obrázku 2.1 [5].

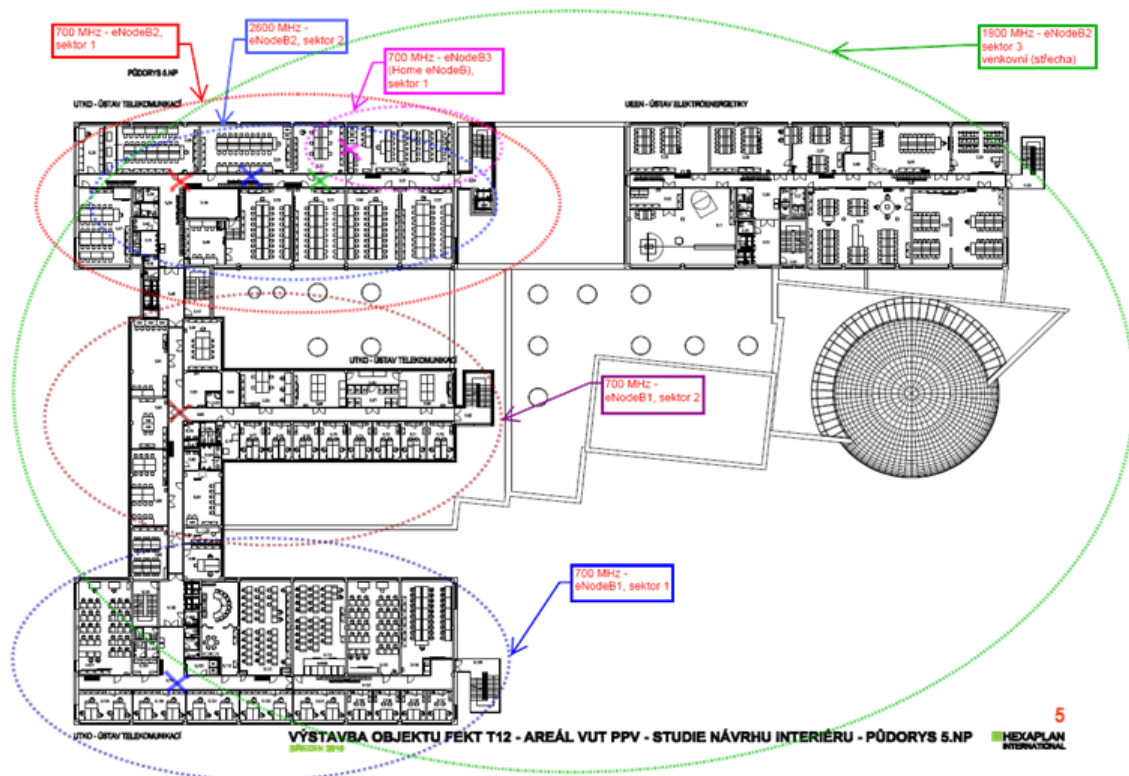


Obr. 2.1: Schéma experimentální mobilní LTE-A sítě na FEKT VUT [5].

### 2.1 Přístupová síť

Přístupová síť je v experimentální síti heterogenní a tvoří jí technologie LTE-A a WLAN. Část využívající LTE se skládá ze tří základnových stanic eNodeB, konkrétně byly vybrány modely DBS3900. Dvě jsou v provedení indoor a jedna Home

eNodeB. Stanice pokrývají budovu E a D v pásmu 700 MHz, budova C je pokryta pásmem 700 MHz a 2600 MHz. Poslední buňka s frekvencí 1800 MHz je umístěna na střeše budovy C. Pokrytí sítě LTE-A je demonstrováno na obrázku 2.2. Další interiérové pokrytí (obrázek 2.3) poté poskytují buňky z bezdrátové sítě Wi-Fi (2,4 GHz a 5 GHz) [5].

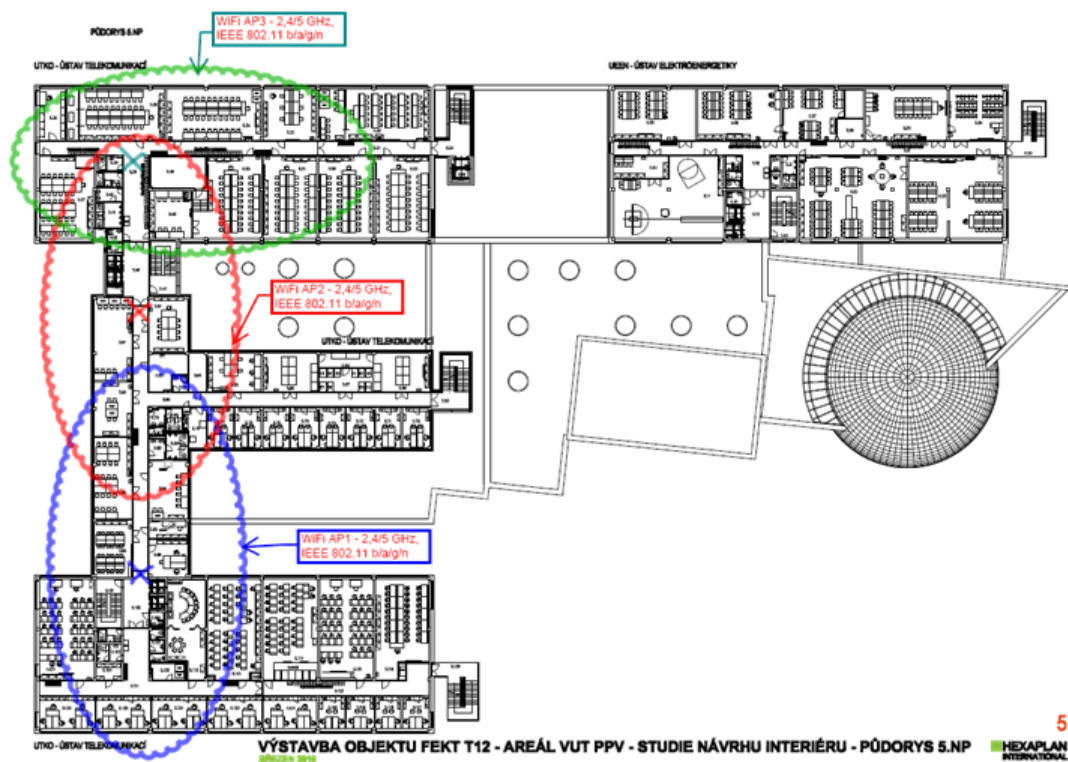


Obr. 2.2: Pokrytí Ústavu telekomunikací rádiovým signálem sítě LTE-A.

Pro obsluhu WLAN přístupové sítě je použit kontrolér Huawei AC-6605 s 24 porty podporujícími až rychlost 1 Gb/s. Ke kontroléru jsou připojeny celkem tři přístupové body. Jedná se o zařízení Huawei AP5010SN-GN pracující v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz s podporou technologie MIMO [5].

## 2.2 EPC

Sít EPC je optimalizována pro spolehlivé poskytování hlasových a datových služeb a jejich přenos po paketově přepojované síti. Pro autentizaci koncových uživatelů a jejich správu zajišťuje prvek MME, který v experimentální síti zastupuje systém Huawei eCNS. Funkce obslužné a paketové brány (S-GW a PDN-GW) jsou integrovány do jednoho zařízení v podobě UGW 9811 [5].



Obr. 2.3: Pokrytí Ústavu telekomunikací rádiovým signálem sítě WiFi.

## 2.3 IMS

Použitím IMS (IP Multimedia Subsystem) je umožněno sjednotit použité přístupové technologie do jednoho systému, který je univerzální a dokáže s jednotným nastavením obsloužit všechny uživatele. Vytvořená nadřazená architektura se skládá z části pro řízení relací, části aplikací a služeb, části konvergence přístupu a manipulace s médii. Veškeré komponenty IMS subsystému jsou instalovány ve formě karet platformy ATCA a propojeny pomocí sběrnice backplane [5].

### 3 RÁDIOVÝ ANALYZÁTOR R&S TSMW

Rádiový analyzátor R&S TSMW slouží pro optimalizaci bezdrátových přenosů. Na vstup zařízení se přivádí signál o frekvenci v rozmezí od 30 MHz do 6 GHz, který lze posléze měřit a analyzovat [6].

Měření sítí LTE je s tímto analyzátozem velmi pohodlné a je pro ně plně vybaven. V pomocném softwaru R&S ROMES4 je třeba nakonfigurovat pouze centrální frekvenci LTE signálu pro zvolené frekvenční pásmo a ostatní parametry jsou již dopočítány a změřeny automaticky. Doplněna je tak například šířka pásma, počet buněk v dosahu, jejich ID, hodnoty RSRP (Reference Symbol Received Power)/RSRQ (Reference Signal Received Quality)/RS-SINR (Reference Signal - Signal to Interference plus Noise Ratio) a mnoho dalších parametrů.

Výsledky měření tak ihned poukáží na případnou interferenci a obsluhu dají okamžitou představu o rádiových podmínkách v mobilní síti. Tyto informace jsou užitečné zejména, když jde o rozsáhlou síť, která není dokonale zmapována [6].



Obr. 3.1: Pohled na přední a zadní stranu analyzátoru R&S TSMW [7].

U LTE-A sítí s využitím CA (Carrier Aggregation) umí analyzátor rozložit zátěž na několik nosných. Tímto se tak do celkové analýzy zahrnou i nosné na okolních frekvencích. Při měření downlink kanálu umí analyzátor vyhodnotit, který eNodeB je nejvýkonnější ve vztahu k počtu připojených UE (User Equipment) a propustnosti, která je jim dostupná. Dokáže rovněž pracovat s daty plánovače, který úlohy rozděluje mezi jednotlivé eNB a umí tak zátěž vyhodnotit i ve vztahu k jednotlivým buňkám a počtu uživatelů [6].

## 3.1 Technologie MIMO

Využití technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) přináší do bezdrátových sítí možnost zvýšit propustnost přenosové cesty nebo eliminaci bitových chyb, záleží na její konfiguraci. Využívá se principu vícecestného šíření. Technologie funguje s využitím několika antén, přičemž každá z nich vyzařuje buď stejný signál za účelem zvýšení přesnosti nebo signál odlišný. V případě druhé konfigurace MIMO slouží ke zvýšení propustnosti [6].

Pro analýzu technologie MIMO je analyzátor vybaven dvojicí interních přijímačů, jež umožňují měřit speciální parametry této technologie. Řeč je o zisku MIMO při reálném nasazení a ne pouze při laboratorním testování. Dvě antény souběžně měří přijímaný rádiový signál využívaný pro mobilní sítě LTE a vyhodnocuje se stupeň korelace MIMO kanálu. Tato informace potom poslouží k posouzení výhodnosti MIMO v konkrétní oblasti, zda se zavedení této technologie výraznějším způsobem odrazí na rychlosti a kvalitě připojení [6].

Měřicí funkce MIMO může být použita pro systémy  $4 \times 2$  nebo  $2 \times 2$ . Výstupem z měření je potom matice  $H$  s komplexními hodnotami amplitudy a hodnotami fáze. Z této matice se poté vypočítá tzv. condition number, které dává představu o stupni korelace MIMO kanálu [6].

## 3.2 Interference a rušení

Dle šířky pásma dokáže analyzátor vyhodnotit, zda bude poskytovat širokopásmové nebo úzkopásmové měření, případně obě naráz. Širokopásmové měření se potom hodí zejména pro detekci interferencí s externím zdrojem.

Ohledně interference vypovídá také parametr SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Pomáhá rychle vyhodnotit pozici interference v rádiovém spektru a posléze určit její zdroj. Pokud je zmíněn RS-SINR, jedná se o SINR referenčního signálu. V tabulce 3.1 jsou parametry týkající se kvality signálu představeny blíže [6].

Parametry, o kterých hovoří tato kapitola, se týkají zejména měření LTE sítí. Používaný analyzátor nicméně dokáže sloužit při měření různých sítí a to dokonce několika najednou. Ve spolupráci se softwarem ROMES4 dokáže zařízení zobrazovat a zpracovávat hodnoty až ze sedmi různých sítí [6].

Při měření LTE signálu se pro vyjádření výkonu používají parametry RSRP (Reference Symbol Received Power) a RSSI (Received Signal Strength Indicator). Pokud se má vyjádřit celkový přijatý výkon na UE (User Equipment), používá se parametr RSSI, což vyjadřuje výkon přijímaného signálu včetně šumu a interferencí v celé šířce komunikačního kanálu.

Tab. 3.1: Parametry signálu vzhledem k šířce pásma [6].

Parametr	Úzkopásmový přenos	Širokopásmový přenos
Přijatý výkon	Výkon	RSRP
Kvalita	RSRQ	RSRQ
Odstup signálu od šumu (SNR)	SINR	RS-SINR
Celkový výkon	$P_{total}$	RSSI

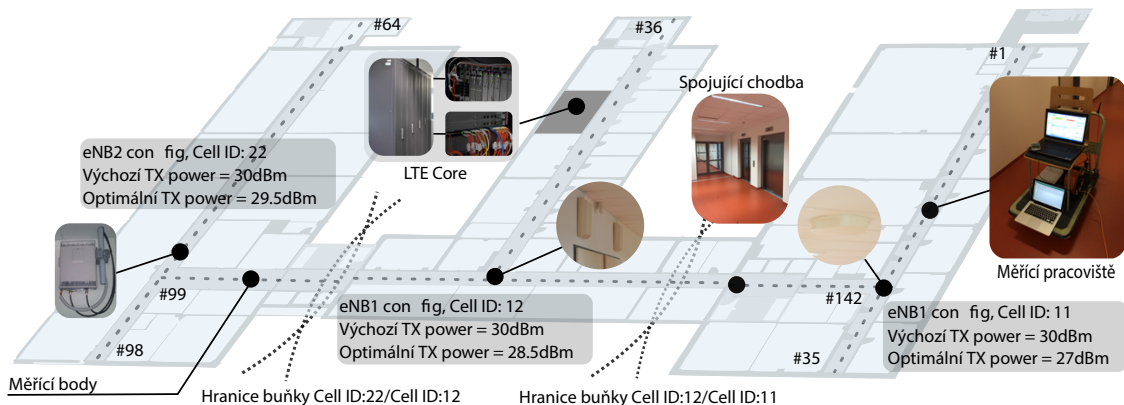
Parametr RSRP reprezentuje výkon referenčního signálu na jeden zdrojový blok (RS - Resource Block) zprůměrovaný ze všech symbolů v celé šířce kanálu. Z těchto dvou parametrů potom lze vyjádřit RSRQ (Reference Signal Received Quality), který nejvíce vypovídá o kvalitě signálu. Vypočíst jej lze podle vzorce:

$$RSRQ = N * \frac{RSRP}{RSSI}, \quad (3.1)$$

kde N je počet zdrojových bloků pro daný LTE kanál [8].

### 3.3 Metodika měření

Hlavní část diplomové práce spočívá ve změření a analýze parametrů rádiového signálu LTE-A sítě. V kapitole 2.1 jsou zmíněny celkem tři vnitřní buňky sítě e-UTRAN, které vysílají na kmitočtech 700 MHz (pásmo 17, US) a jsou umístěny na 5. patře v budovách E, D a C na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Právě signál z těchto buněk bude předmětem měření. Využívat se bude analyzátor R&S TSMW a software ROMES4 popsány v kapitole 3.



Obr. 3.2: Plánek Ústavu telekomunikací a rozmístění měřících bodů včetně polohy eNB.



Za účelem přesnosti měření byly po chodbách vyznačeny měřící body v pevně daných vzdálenostech tak, aby bylo pokryto celé podlaží. Rozmístění jednotlivých bodů je zřejmé z obrázku 3.2, kde je také zaznačena poloha vysílačů, jejichž signál bude měřen. Pro jednoduchou obsluhu bude analyzátor spolu s notebookem se softwarem ROMES4 a mobilním telefonem Samsung Galaxy S4 umístěn na pojízdném měřícím pracovišti viz. obrázek 3.3. Při měření bude přední hrana vozíku zarovnána se značkou na podlaze. Samotné měření potom bude v každém místě probíhat tři minuty.



Obr. 3.3: Mobilní pracoviště s analyzátelem R&S TSMW.



## 4 MĚŘENÍ RÁDIOVÝCH PODMÍNEK

V kapitole 3.3 byl nastíněn postup měření, které bylo provedeno na chodbách Ústavu telekomunikací. Výsledky z toho měření budou v následující části práce okomentovány a zobrazeny v grafech.

### 4.1 Konfigurace sítě

Před samotnou diskuzí výsledků je potřeba zmínit konfiguraci sítě a jejich jednotlivých buněk. V pátém patře Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií jsou umístěny celkem dvě stanice eNodeB. Každá z nich obsluhuje dvě vysílací buňky. Tři buňky jsou nastaveny na frekvenci 700 MHz a jedna buňka vysílá na kmitočtu 2600 MHz. Jejich označení je blíže specifikováno v tabulce 4.1. Tato práce se soustředí na měření LTE-A sítě ve frekvenčním pásmu 700 MHz, čili se měření bude týkat pouze buněk 11, 12 a 22.

Tab. 4.1: Konfigurace základnových stanic eNodeB.

Základnová stanice	Buňka	Cell ID	Původní vysílací výkon	Optimální vysílací výkon
eNodeB1	0	11	30 dBm	28 dBm
	1	12	30 dBm	27,5 dBm
eNodeB2	0	22	30 dBm	29,5 dBm
	1	21	–	–

Ve výchozím nastavení byl na všech třech buňkách nastaven vysílací výkon 30 dBm, tedy 1 mW. Toto nastavení ale z důvodu malých vzdáleností mezi buňkami není ideální a dochází ke zbytečným interferencím. Na základě předchozích měření tak bylo stanoveno optimální nastavení, které se uplatnilo a s tímto nastavením byly buňky aktivní i při měření v rámci této diplomové práce. Optimální vysílací výkon byl pro buňku 11 nastaven na 28 dBm, pro buňku 12 27,5 dBm a buňka 22 byla nakonfigurována na 29,5 dBm.

### 4.2 Použité antény

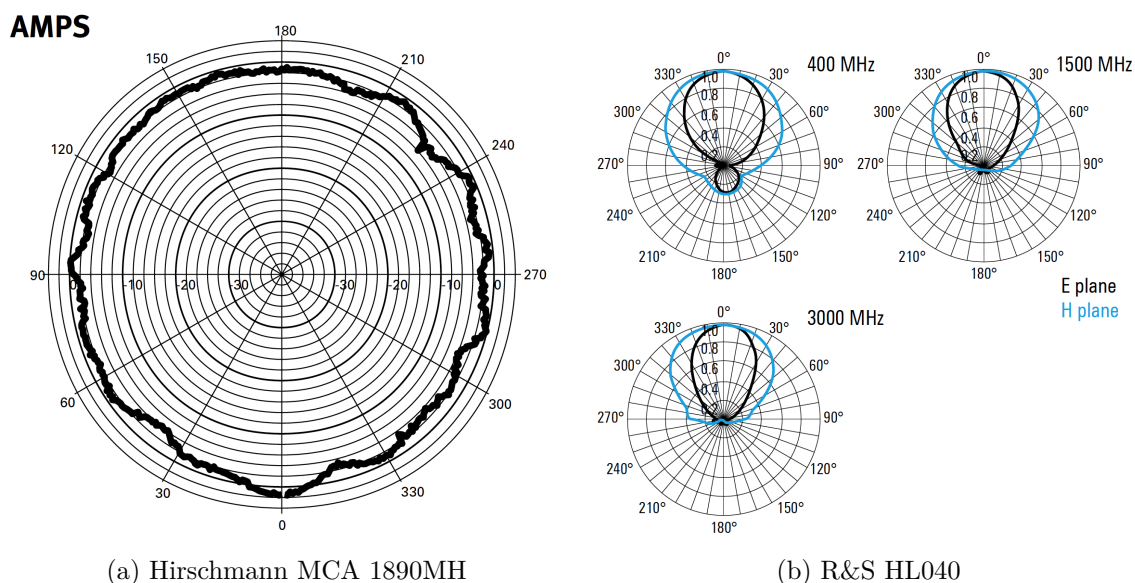
Měření experimentální sítě LTE-A bude provedeno ve dvou různých konfiguracích s dvojicí antén. Jedna z antén je směrová a nabízí větší signálový zisk, ta druhá z nich je naopak všesměrová a jedná se o obyčejnou univerzální anténu. Všesměrová anténa má označení Hirschmann MCA 1890MH a směrová anténa R&S HL040.

Mimo směrové charakteristiky je mezi nimi rozdíl také v zisku. Směrová anténa má ve svém přímém směru větší zisk než použitá všesměrová. V tabulce 4.2 je uveden přehled základních parametrů obou antén.

Tab. 4.2: Parametry použitých antén.

	Zisk	Frekvenční rozsah
Hirschmann MCA 1890MH	5,1 dBi	824-2170 MHz
R&S HL040	5-7 dBi	400 MHz to 3,6 GHz

Směrové charakteristiky obou antén jsou na obrázku 4.1. Anténa R&S je má sice větší zisk, který je docílen vyzařováním do užšího prostoru před anténou, nese s sebou ale výraznou směrovost. Z tohoto důvodu muselo být pracoviště v konfiguraci s touto anténou vždy natočeno směrem k vysílači. Zároveň se ale do výsledků nepodepsali interference, které můžou mít na svědomí neočekávaný projev signálu v prostoru. Oblast příjmu této antény je totiž výrazně užší a prostor za anténou není snímán vůbec.



Obr. 4.1: Směrové charakteristiky použitých antén.

## 4.3 Výsledky měření

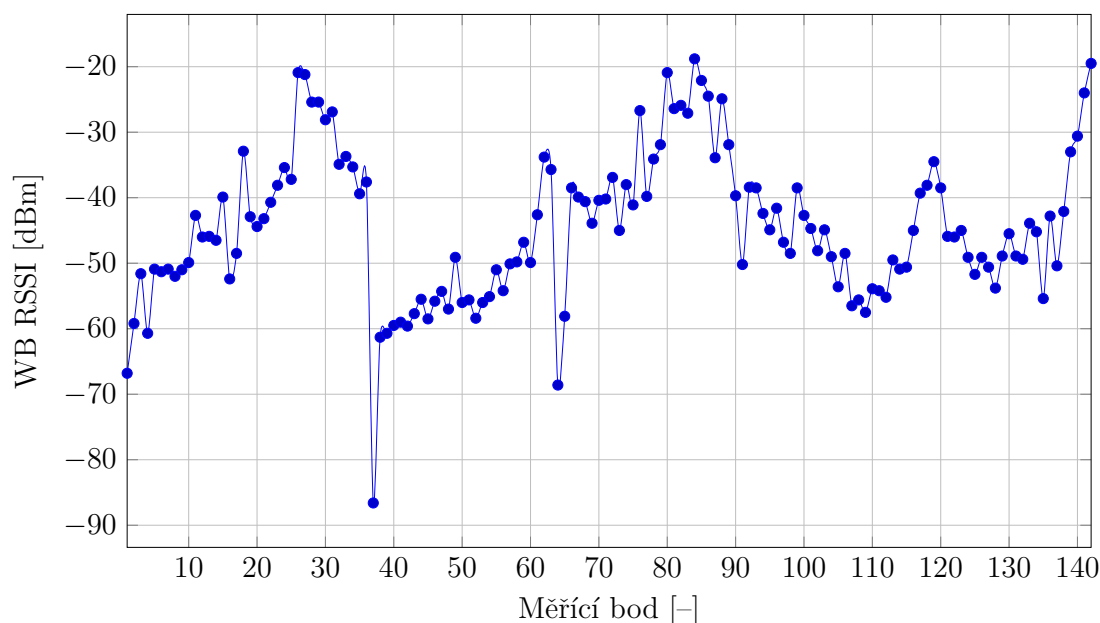
V předchozích kapitolách 4.1 a 4.2 byla představena konfigurace měřené sítě včetně specifikace měřicí techniky. V této části bude postoupeno k prezentaci výsledků a jejich analýze.

Naměřené hodnoty budou v této části zobrazeny do grafů. Diskutovány budou parametry WB RSSI, WB RSRQ, WB RSRP a WB RS-SINR naměřené analyzátozem R&S TSMW. Zkratka WB před označením parametru znamená WideBand, tedy širokopásmový.

Měření byla provedena celkem dvě. Nejprve byla použita jednoduchá všesměrová anténa a ve druhém případě směrová anténa s vyšším ziskem. Tato kapitola bude věnována porovnání obou měření. Mimo to budou hodnoty naměřené analyzátozem posléze porovnány s hodnotami naměřenými mobilním telefonem Samsung Galaxy S4 s nainstalovanou aplikací pro měření zmíněných rádiových parametrů.

### 4.3.1 Měření všesměrovou anténou

V grafu 4.2 lze sledovat vývoj parametru RSSI v rámci celého měření. Měření začíná v bodě 1, který je vzdálen přibližně 3/4 délky chodby od buňky číslo 11. Přijatý signál je tak na poměrně nízké úrovni (-66.8 dBm). Každé další měřicí stanoviště je však k buňce blíž, což je i patrné z grafu, kde lze sledovat nárůst až přibližně do bodu 28, který leží přímo u vysílače, kde je signál nejsilnější.

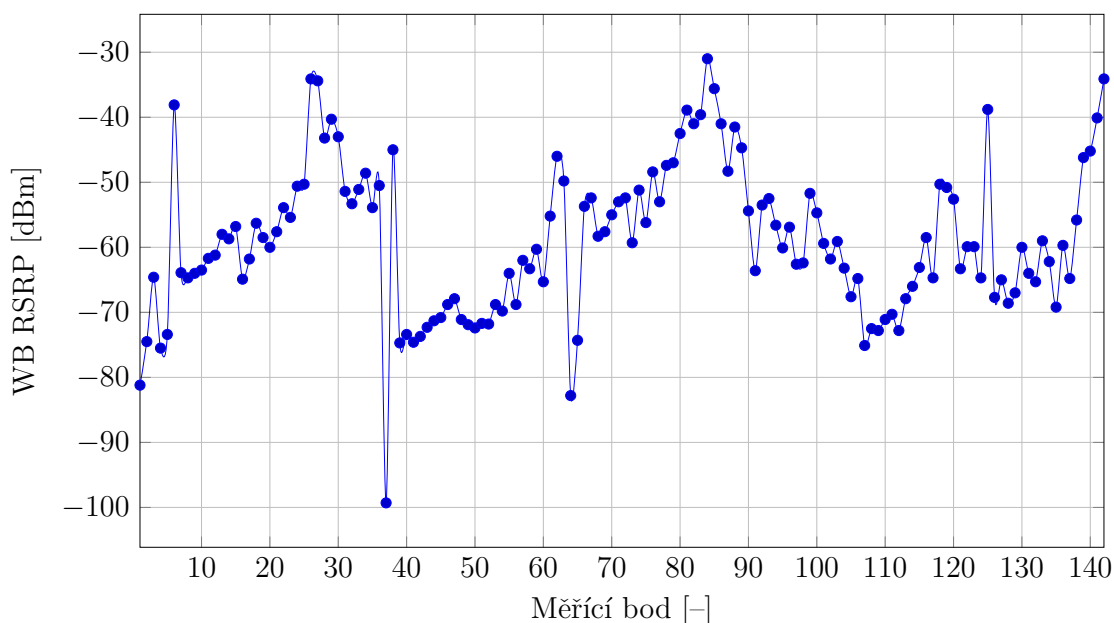


Obr. 4.2: Hodnota parametru WB RSSI v jednotlivých bodech měření.

Poté dochází k opětovnému poklesu, který je způsoben vzdalováním se od vysílající buňky číslo 11. Jakmile signál dosáhl velmi nízké úrovně, manuálně se analyzátor přepojil na nejsilnější vysílající buňku v dosahu. Toto manuální přenastavení bylo provedeno v momentě, kdy se automaticky přepojil mobilní telefon Samsung GS4. V momentě přepojení lze pozorovat skokový nárůst úrovně. Síla signálu nadále stoupala až k maximu na bodě přímo u vysílače.

Tento trend se v grafu celkem třikrát opakuje. Předmětem měření jsou totiž celkem tři vysílající buňky, k přepojení tak došlo dohromady dvakrát. Nicméně ve třetí třetině grafu lze pozorovat jistou nestálost v naměřených hodnotách. Tento jev se dá vysvětlit interferencemi, které nastávají v této části chodby, kde jsou umístěny i další technické místnosti, které mohou mít na signál vliv. V těchto místech docházelo k častější změně komunikující buňky, protože i vzdálenější buňky měly díky této anomálii silnější signál.

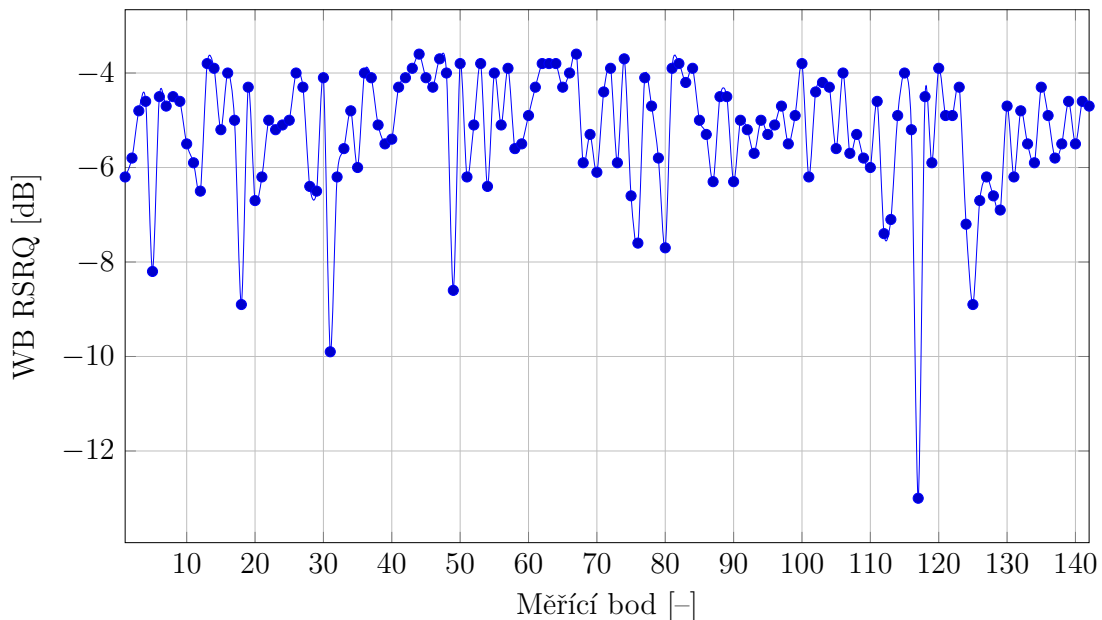
Podobný vývoj zobrazuje i graf 4.3 znázorňující parametr WB RSRP. Tato hodnota je totiž velmi podobná parametru RSSI. Jejich rozdíl je popsán v kapitole 3.2. Právě podílem těchto dvou parametrů a jeho vynásobením počtem zdrojových bloků v daném LTE kanále získáme parametr RSRQ. Zobrazen je v grafu 4.4 a z průběhu hodnot lze vidět, že se hodnoty pohybují v malém rozmezí přibližně od hodnoty -4 dB do -8 dB. Malá výchylka svědčí o menší míře interference a šumu v signálu.



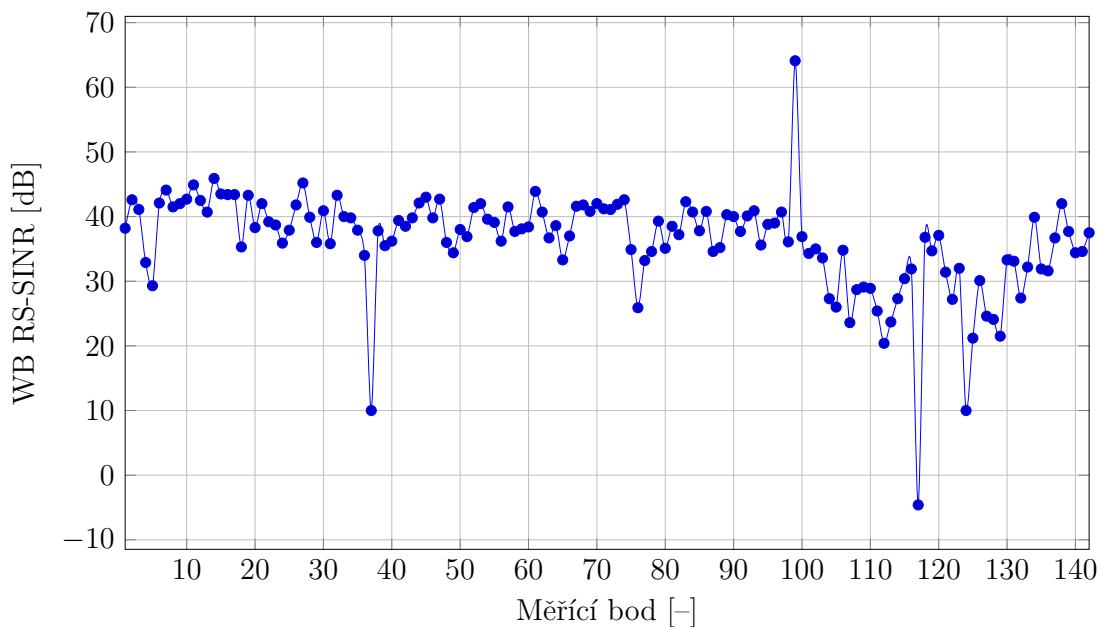
Obr. 4.3: Hodnota parametru WB RSRP v jednotlivých bodech měření.

V posledním grafu 4.5, který se týká hodnot z analyzátoru TSMW, je zobrazen parametr WB RS-SINR. Jedná se o odstup referenčního signálu od šumu a interference v celé šířce měřeného spektra. Výchylky jsou stále přibližně stejné a úroveň

se pohybuje kolem hodnoty 40 dB. Větší výchylky lze pozorovat přibližně v poslední čtvrtině grafu, kde se projevuje již zmíněná interference, která způsobila poklesy signálu a častější přepojování mezi buňkami.



Obr. 4.4: Hodnota parametru WB RSRQ v jednotlivých bodech měření.



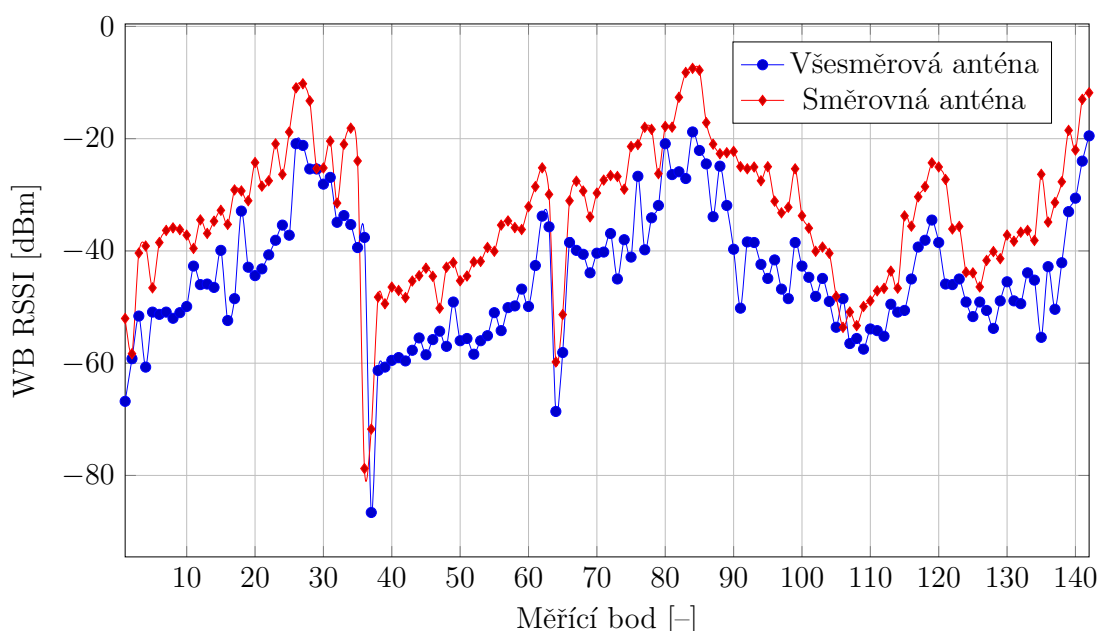
Obr. 4.5: Hodnota parametru WB RS-SINR v jednotlivých bodech měření.

### 4.3.2 Měření směrovou anténou

Měření se směrovou anténou probíhalo stejným způsobem jako s běžnou anténou. Jediný rozdíl v praktickém provádění měření je zohlednění směrovosti. Z tohoto důvodu bylo měřící pracoviště vždy natočeno ve směru vysílající buňky.

Graf 4.6 srovnává hodnoty parametru RSRP při měření se směrovou a všesměrovou anténou. Rozdíl je na první pohled patrný. Červená křivka reprezentující směrovou anténu s vyšší ziskem je celkově posazena přibližně o 5 dBm výše.

V případě modré křivky, zobrazující hodnoty ze všesměrové antény jsou také vidět náhlé odchylky od jinak jasného trendu. Tyto odchylky jsou v případě směrové antény eliminovány, díky vymezení oblasti příjmu jsou hodnoty více konzistentní a upozadí se vlivy prostředí, které nejsou ve výhledu antény.

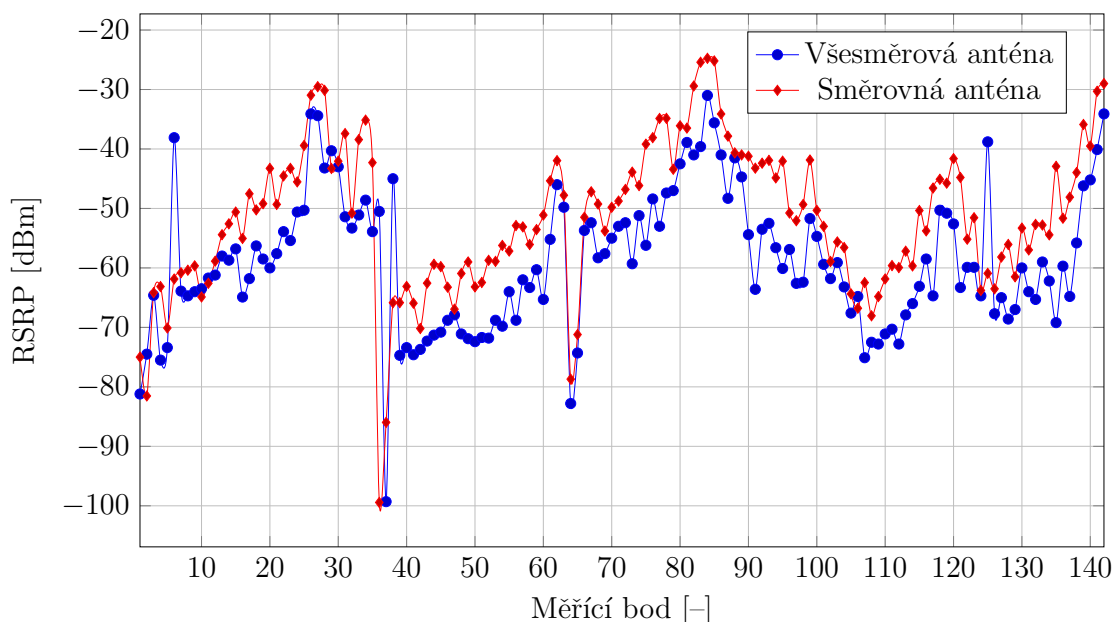


Obr. 4.6: Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSSI všesměrovou a směrovou anténou.

Průběh obou křivek opět odpovídá modelu sítě, ten zůstal u obou případů stejný. V grafu 4.6 lze tedy vidět celkem tři maxima, které korespondují se třemi vysílači v síti. V poslední části, kde dochází k výraznější interferenci signálu vlivem technických místností, se potvrdila i v měření se směrovou anténou a nejednalo se tak pouze o dočasný jev.

Obdobný výsledek lze vidět v grafu 4.7, kde jsou graficky znázorněny hodnoty parametru RSRP. V případě obou grafů však lze vidět, jasněji zřetelné špičky. Jedná se o místa, těsně pod vysílačem, kde je signál nejsilnější a nejkvalitnější.

V bodech měření, které jsou v blízkosti vysílače a signál by zde měl mít největší výkon a odstup od šumu by měl být rovněž velký, dochází ke stabilizaci signálu na jeho maximu. Všechny špičky jsou tak jasněji čitelné. U měření všesměrovou anténou je pokles u bodů v okolí maxima razantnější.



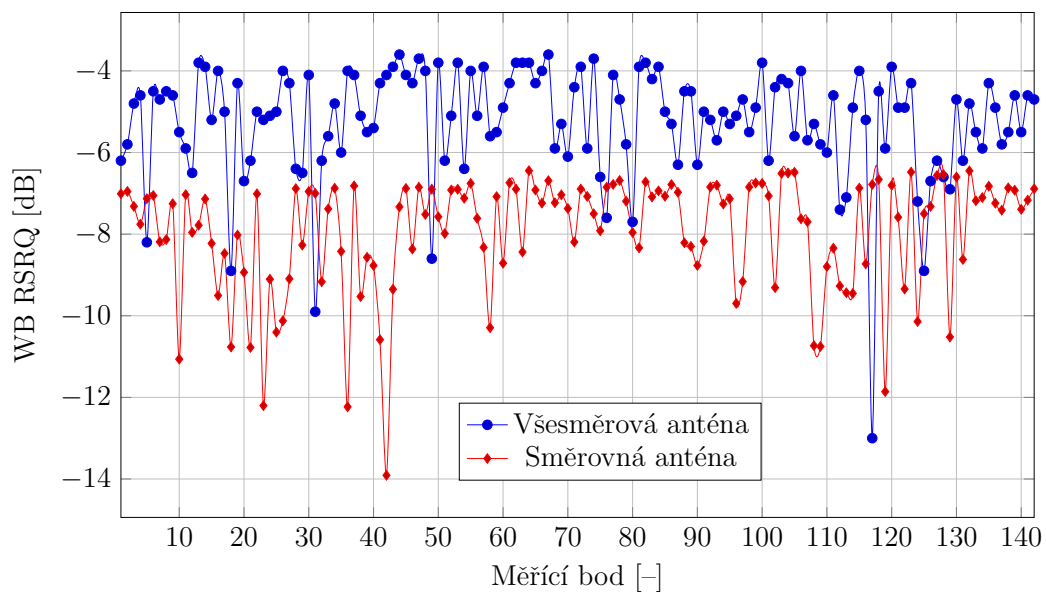
Obr. 4.7: Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSRP všesměrovou a směrovou anténou.

Parametrem RSRQ se často popisuje celková kvalita LTE signálu. Jeho hodnoty se obvykle pohybují v rozmezí od -3 dB do -20 dB. Čím je absolutní hodnota parametru menší, tím lepší je kvalita signálu. V grafu 4.8 lze vidět časté skokové výchylky až k -14 dB, které jsou nejčastější v místech, kdy klesá kvalita signálu. Tyto poklesy kvality se objevují zpravidla v místech, které se nacházejí ve vzdálenějších místech od vysílače.

Překvapující je ovšem to, že při měření s obyčejnou všesměrovou anténou byla kvalita naměřeného signálu větší. Celá křivka je totiž zasazena přibližně o 3 dB výš. Nicméně v obou případech dosahuje kvalita signálu vysoké úrovně. Obecně se hodnoty do -10 dB považují za známky vysoké kvality rádiového spojení [9].

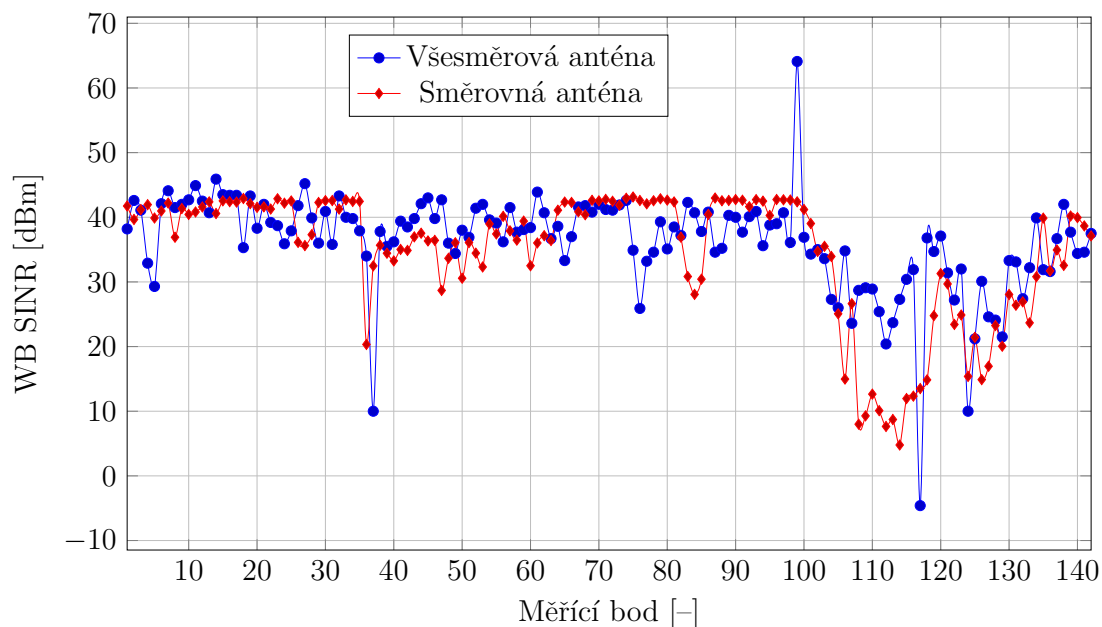
V případě srovnání parametru SINR v grafu 4.9, tedy odstup signálu od šumu, jsou si obě křivky velmi podobné. Pouze v poslední čtvrtině grafu lze vidět nižší hodnoty pro všesměrovou anténu. Je to v místech, kde byla kvalita signálu celkově horší. Měření probíhala v jiném časovém období a rádiové podmínky se tak od sebe mohly lišit.

Směrová anténa je sice citlivější na signál v daném pásmu, rovněž ale reaguje na různé rušivé elementy. Může se jednat o interferenci ke které dochází ve směru,



Obr. 4.8: Srovnání naměřených hodnot parametru WB RSRQ všesměrovou a směrovou anténou.

kam je anténa namířena. Vliv může mít rovněž jiné záření ve stejném frekvenčním pásmu.



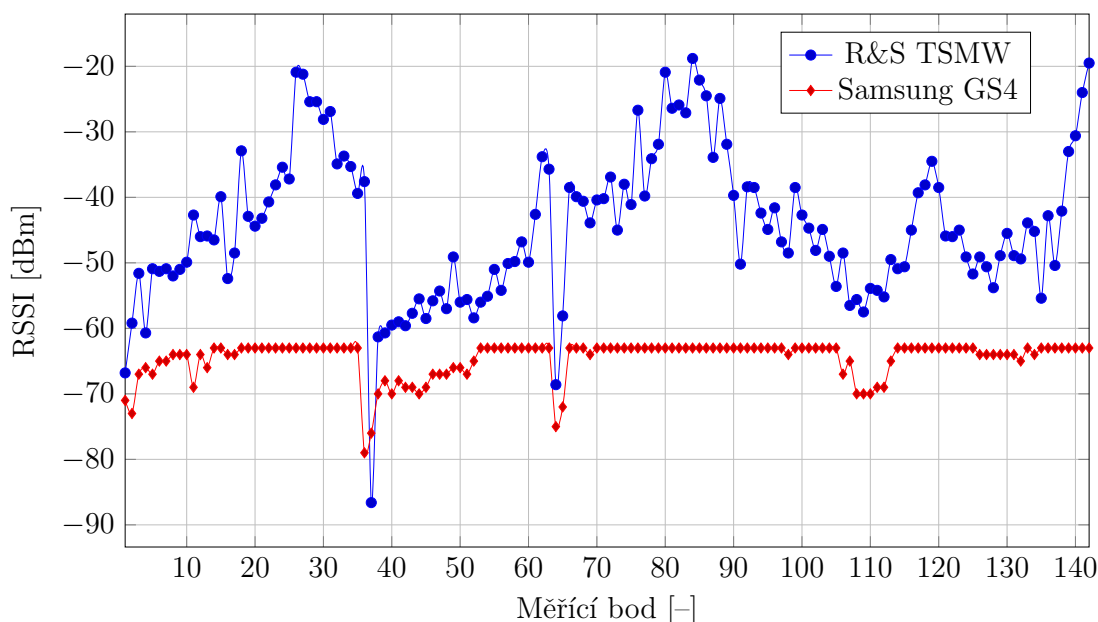
Obr. 4.9: Srovnání naměřených hodnot parametru WB SINR všesměrovou a směrovou anténou.



## 4.4 Srovnání výsledků s mobilním telefonem

V každém bodě bylo provedeno měření analyzátozem a zároveň byly změřeny parametry RSSI, RSRP, RSRQ a SNR pomocí telefonu Samsung Galaxy S4. Hodnoty jsou v následující části porovnány a pro představu spolu zobrazeny v grafu.

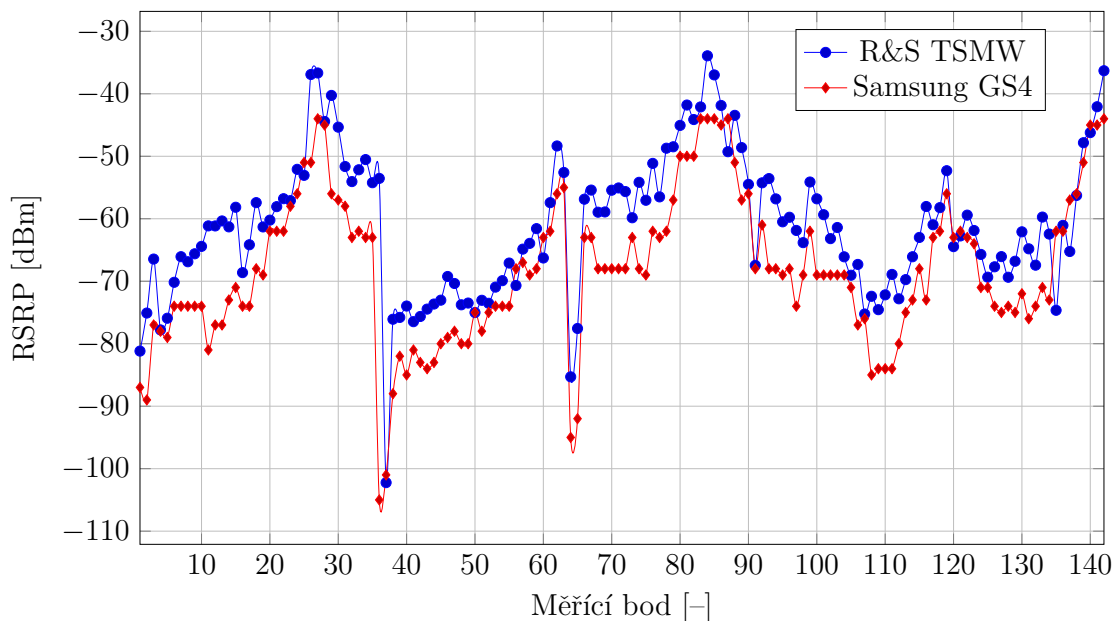
Z prvního grafu 4.10 je ihned patrná malá rozlišovací schopnost mobilního telefonu. Zatímco analyzátor poskytl poměrně jasnou křivku, která také odpovídá konfiguraci měření, výstup z telefonu je přibližně o 20 dBm menší a úplně chybí informace o růstu signálu. Z červené křivky telefonu Samsung jsou patrné jen poklesy, při kterých následně došlo k přepojení na sousední buňku. Menší úroveň signálu je dána především anténou s menším ziskem, než má dvojice antén použitá s analyzátozem.



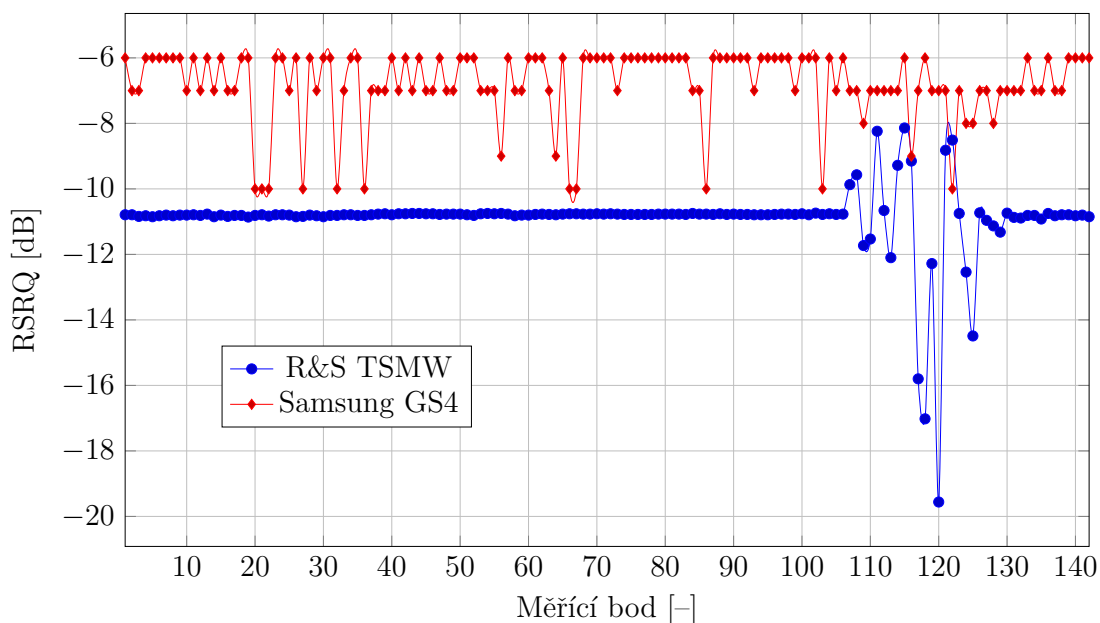
Obr. 4.10: Srovnání hodnot parametru RSSI naměřených analyzátozem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření.

Mnohem lépe dopadlo porovnání hodnot RSRP. Hodnoty naměřené mobilem kopírují křivku analyzátozu v grafu 4.11. Analyzátor však stále poskytuje lepší rozlišení a i celá křivka je postavena přibližně o 5 dBm výš.

Pro grafy 4.12 a 4.13 platí téměř totéž, co pro předchozí hodnoty. V případě grafu 4.13 srovnávajícího odstup signálu od šumu, je patrná menší citlivost mobilního telefonu, nicméně největší výkyvy kvality signálu jsou zde reflektovány celkem přesně.

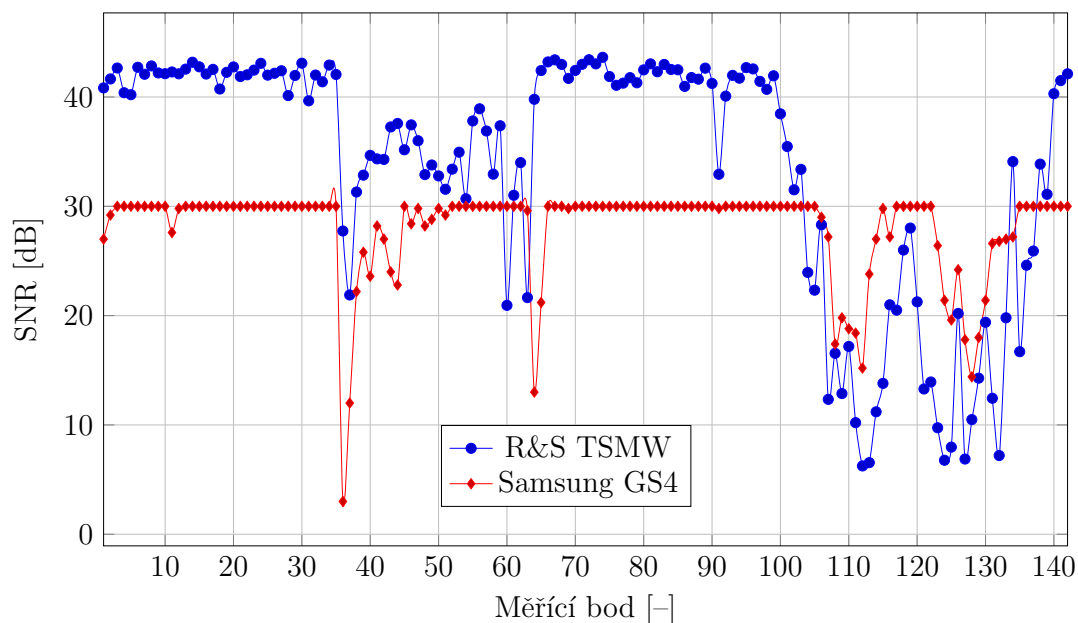


Obr. 4.11: Srovnání hodnot parametru RSRP naměřených analyzátozem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření.

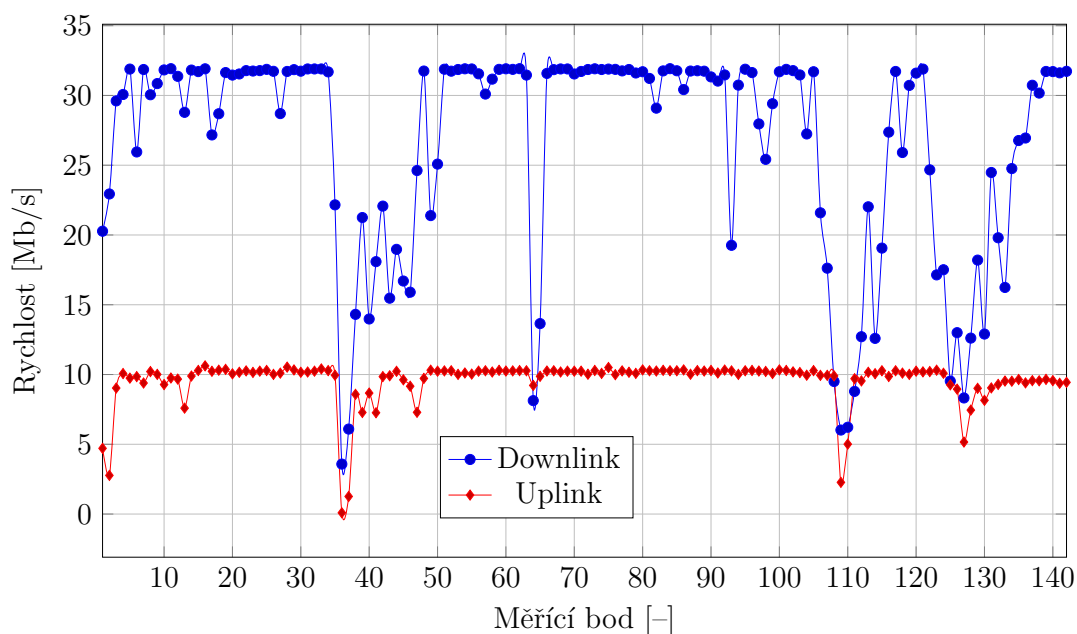


Obr. 4.12: Srovnání hodnot parametru RSRQ naměřených analyzátozem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření.

Při běžném používání internetového připojení na mobilním telefonu zpravidla nejsou důležité parametry jako je odstup signálu od šumu nebo úroveň přijatého signálu. Hlavní kritérium je pro uživatele přenosová rychlost, ať při stahování nebo



Obr. 4.13: Srovnání hodnot parametru SNR naměřených analyzátozem R&S TSMW a mobilním telefonem Samsung S4 v jednotlivých bodech měření.



Obr. 4.14: Rychlost uploadu a downloadu mobilního telefonu Samsung S4 v jednotlivých bodech měření.

při nahrávání dat. Ta je zobrazena v grafu 4.14. Zde lze pozorovat relativně stabilní rychlost odchozích dat do sítě, která se pohybuje okolo 10 Mb/s, přičemž maximální dosažitelné rychlosti v experimentální LTE-A síti na VUT jsou 35 Mb/s při stahování a 13 Mb/s při nahrávání dat.

Opačný směr, tedy rychlost přicházejících dat, má mnohem proměnlivější charakter. Jsou zde místa, kde dochází k velkému poklesu rychlosti a ty se objevují právě v místech, kde byla i nízká úroveň signálu. Úroveň přijatého signálu ale nemusí mít nutně vliv na rychlost. Z grafu 4.14 lze totiž vidět, že i v oblastech, kde docházelo k průběžnému růstu úrovně, zůstává rychlost přibližně konstantní.

## 5 PLATFORMA PRO ZPRACOVÁNÍ DAT

Aby mohly být naměřené parametry zpracovány a zobrazeny v grafech, bylo potřeba nejprve data z exportovaného souboru převést do tabulky, která je přehlednější a především poskytuje přehled nad naměřenými daty.

Proces ručního zpracování dat je ale časově náročný a pro další práci s analyzátozem R&S TSMW bude vhodné vytvořit aplikaci, která dokáže automaticky exportovaná data ze souboru roztřídit. Praktická část diplomové práce tak bude zaměřena právě na tvorbu tohoto programu.

V následující části bude rozebrána struktura dat, která vznikne exportem z měření v softwaru ROMES, jakým způsobem lze tyto data automatizovaně zpracovat a v jakém formátu budou poskytnuta uživateli navrhnuté aplikace.

### 5.1 Struktura dat na výstupu analyzátoru

Po skončení měření nabízí analyzátor možnost exportu dat v deseti různých formátech. Pro účely této práce jsou nicméně vhodné pouze dva a sice formát pcap a asc (ASCII). Nejvhodnější je potom textový formát. Zde jsou data uložena do jednoduchého textového souboru, kde jsou jednotlivé parametry odděleny pomocí středníků.

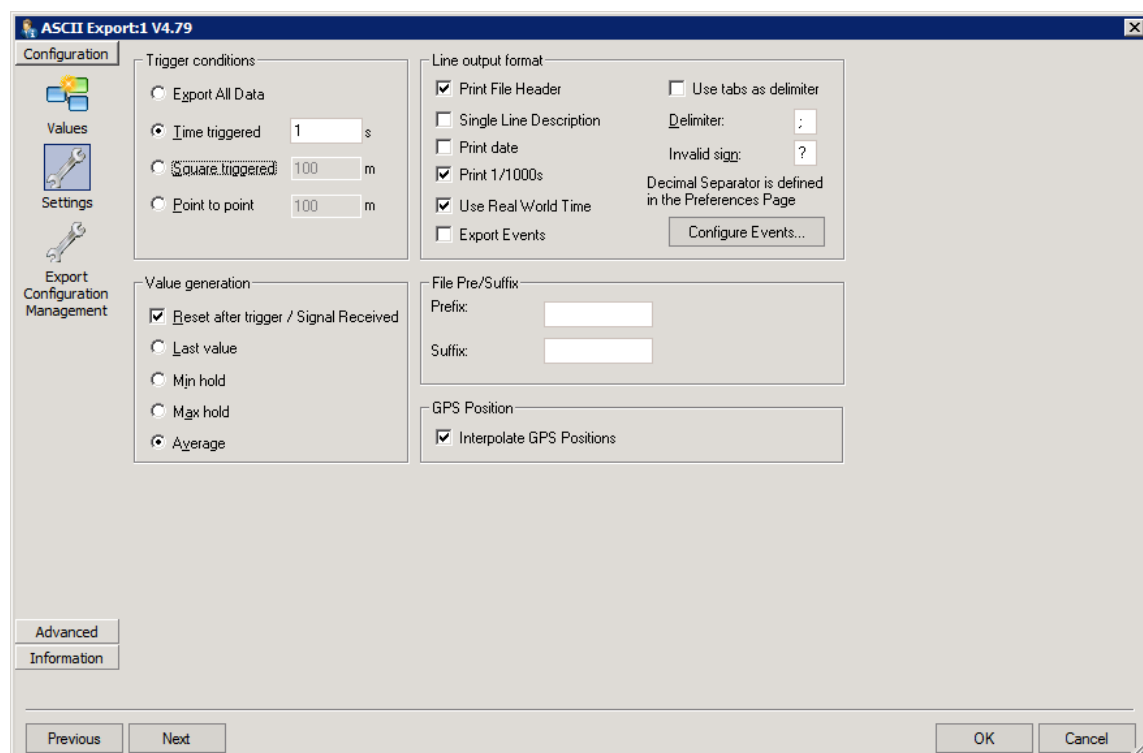
Výpis 5.1: Ukázka vstupních dat

```
13:32:38.040;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;23.34;26.54;
20.14;?;?;-8.40;?;-11.00;?;?;?;?;?;-11.00;-11.00;-29.02;
-28.66;-6.54;-6.19;-29.03;-28.68;-6.64;-6.29;25.90;26.11;
2;5.0;160;-28.66;-6.19;-28.68;-6.29;26.11;1,0,27.9,27.7,
25.8,25.5,26.0,25.8,25.4,26.4,26.6,25.6,26.1,25.9,26.9,
26.2,26.9,26.1,25.8,25.4,24.8,25.4,26.6,26.1,25.8,26.2,
26.1,,1;0,27.9,,160;-29.02;-6.54;-29.03;-6.64;25.90;1,0,
27.4,27.4,25.7,25.6,26.0,25.9,25.7,25.8,26.3,26.4,25.8,
25.8,26.9,26.0,26.3,26.1,26.1,25.1,24.7,24.7,25.4,25.4,
25.5,26.1,25.5,,0;;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;
?;Unknown;?;n.a.;?;?;?;?;?;
?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;
?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;
.
.
.
25.5,26.1,25.5,,0;;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;
?;Unknown;?;n.a.;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?;?
```

V hlavičce souboru jsou vypsané informace o nastavení celého softwaru ROMES a analyzátoru. Dále zde lze nalézt výpis všech exportovaných parametrů. Za hlavičkou následují samotné hodnoty všech parametrů oddělených středníky ve stejném pořadí, jako jsou výše zmíněné parametry.

Před každou sadou naměřených výsledků se nachází časové razítko, pomocí kterého lze poté rozlišit jednotlivá měření. Analyzátor zaznamenává hodnoty zvolených parametrů každé tři tisíce sekundy. Výsledný soubor má tedy statisíce záznamů a je velmi objemný. Jeho manuální zpracování a převedení do prezentovatelné formy je tedy velmi časově náročné. Pro lepší představu, jakým způsobem jsou naměřené výsledky zapsány v souboru, je ve výpisu 5.1 vložen jeden řádek z exportovaného souboru.

Při exportování dat z programu ROMES je možnost upravit nastavení a například některé parametry z exportu odstranit nebo zvolit časový úsek měření, který má být exportován. Pro jednoduchost byly exporty provedeny se všemi dostupnými parametry v celé časovém rozsahu.



Obr. 5.1: Nastavení exportovaného souboru ASCII v programu ROMES

Jediným provedeným nastavením je výpis hodnot po celých sekundách. Nevypisují se tedy hodnoty v každých třech tisícínách sekundy, ale vypočítá se průměr všech naměřených hodnot v jedné vteřině. Jeden řádek exportu tedy představuje

průměrné hodnoty v časovém období od minulé časové značky po tu na začátku daného řádku.

Toto nastavení se provádí v konfiguračním okně ASCII exportu v záložce settings. Zde se nastaví položka Time triggered na hodnotu 1 s a ve skupině parametrů Value generation se vybere možnost Reset after trigger s nastavením average. Pro správný chod Parseru je potřeba do exportu zahrnout i jeho hlavičku. To se provede vybráním volby Print header file ve skupině Line output format. Pro rozlišení časových parametrů je potřeba vybrat také možnost Print 1/100s. Řádně nastavený export je demonstrován na obrázku 5.1.

## 5.2 Parser

Základní myšlenka celého softwaru je umožnit uživateli rychlé zpracování souboru s exportovanými výsledky z měření LTE-A sítě. Měření může být prováděno i v podmínkách bez připojení k Internetu a všechny operace mohou být prováděny offline. V této kapitole budou v jednotlivých sekcích rozebrány základní stavební kameny celého programu. Tedy úvodní načtení vstupního souboru, uživatelský výběr parametrů a jejich zpracování s následným exportem těchto zpracovaných dat.

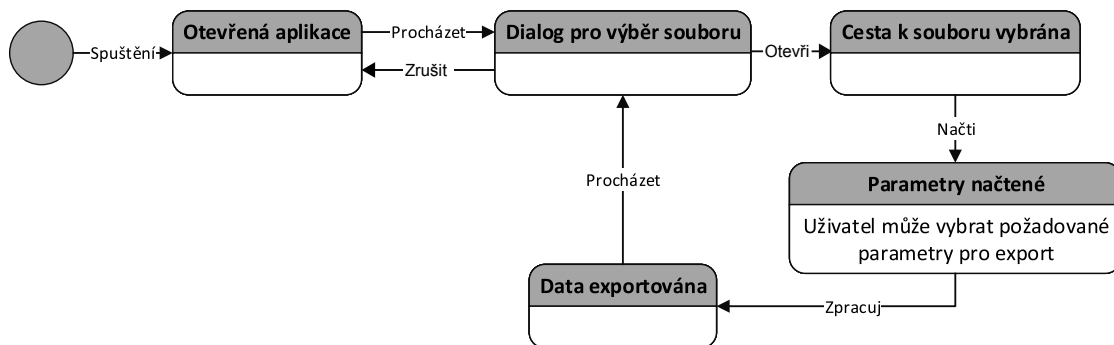
Pro tvorbu požadované aplikace bude využito několik programovacích jazyků. Po zvážení všech aspektů byl vybrán programovací jazyk Java. Java je totiž multiplatformní, má širokou základnu programátorů a tedy i zdarma dostupných knihoven na Internetu. Vzhledem k rozsahu programu bude tento jazyk naprosto dostačovat a jeho limity rozhodně nebude dosaženy.

Práci se vstupním souborem tedy zajistí algoritmus v jazyce Java. Pro grafické uživatelské rozhraní bude využit jazyk JavaFX, který pro základní uživatelské rozhraní naprosto dostačuje. Pro samotný vývoj bylo zvoleno vývojové prostředí Eclipse Neon.3, jelikož se jedná o univerzální vývojářský nástroj, který je dobře znám. Pro snazší sestavení grafického rozhraní poslouží Scene Builder 2.0.

Funkčnost a stavy, ve kterých se může aplikace nacházet, nejlépe demonstruje stavový diagram 5.2. Každé okno reprezentuje aktuální stav programu. Šipky potom představují provedené akce, jejichž vykonání vždy vede ke změně stavu aplikace.

Program je rozdělen na dvě třídy. Třída SampleControler tvoří rozhraní mezi grafickým rozhraním a jeho prvky a algoritmy programu. Jsou zde vytvořeny akce při stisku jednotlivých ovládacích prvků programu. Uvnitř této akce je potom obstaráno zavolání příslušné metody z třídy Main a předání vstupních hodnot zadaných uživatelem. Ve výpisu 5.2 je kód, který je spuštěn po stlačení tlačítka procházet v programu aplikace.

Výpis 5.2: Akce browse pro vybrání vstupních dat



Obr. 5.2: Stavový diagram programu ROMES parser

```

1 String path = null;
2 @FXML
3 private TextField Path;
4 @FXML
5 private Button Find;
6 @FXML
7 public void browse (ActionEvent e) throws Exception {
8     path = Main.Browse();
9     Path.setText(path);
10    if(path!=null){Load.setDisable(false);}
11 }

```

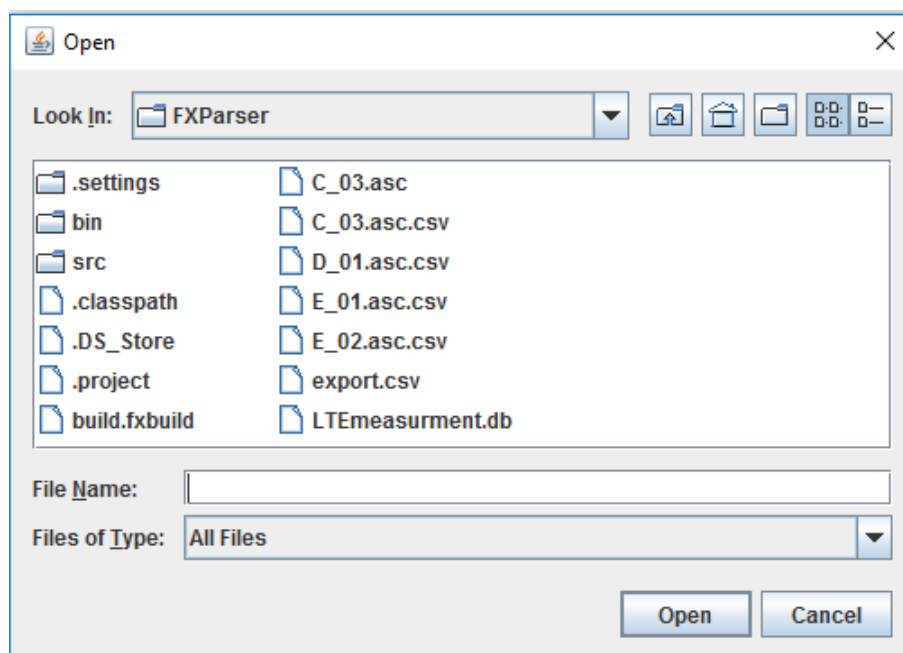
V této akci je volána metoda Browse ze třídy Main. Tato funkce vrací datový typ string, který je uložen do proměnné path. Proměnná path poté nese cestu ke vstupnímu souboru, který uživatel zvolil.

### 5.2.1 Načtení vstupních dat

Nejprve je potřeba vybrat vstupní soubor, který obsahuje export naměřených dat ze softwaru ROMES. Dialogové okno pro výběr soubor je v programu vyřešeno pomocí třídy JFileChooser. Tato třída umí procházet adresářovou strukturu operačního systému a pro větší pohodlí uživatele zobrazí dialogové okno v klasickém formátu vzhledově přizpůsobeno používanému operačnímu systému.

Po stisku tlačítka procházet v programu ROMES parser se zmíněné dialogové okno otevře (obrázek 5.3) a uživatel má možnost výběru zdroje ze souborové soustavy. Potvrzením této volby se uloží zdrojová cesta, která bude později využita pro načtení dat.





Obr. 5.3: Dialogové okno pro výběr vstupního souboru

Jakmile jsou zvolena vstupní data, může uživatel pokračovat volbou načti. Poté je zpracována hlavička exportu, kde se nachází také výpis všech dostupných parametrů. K načítání tohoto seznamu je použita třída `BufferedReader`, která je blíže popsána v kapitole 5.2.3. Hlavička dokumentu je ohraničena výrazy "[DESCRIPTION]" a "[DATA]", což umožňuje v případě detekce takového řetězce začít načítání parametrů anebo ho ukončit.

Pakliže by v souboru nebyly nalezeny klíčové prvky, které se mají nacházet v každém exportu ze softwaru ROMES, bude uživatel upozorněn na nesprávný formát dat. Je tím ošetřen neočekávaný vstup způsoben například chybou uživatele.

Seznam parametrů je porovnán s těmi vybranými, které jsou zobrazeny v okně aplikace. Jestliže dojde ke shodě, řádek parametru se aktivuje pro jeho výběr. Výběrem uživatel značí, které parametry chce ze vstupního souboru dále exportovat a které bude také aplikace v exportu vyhledávat.

Jakékoliv hledání mezi parametry probíhá pomocí metody `Search` ve třídě `Main`. Na vstup této metody je zadán vyhledávaný string a databáze dat, ve které má hledání probíhat. Metoda porovná řetězec s obsahem databáze a pokud dojde ke shodě vrátí pozici tohoto hledaného výrazu v prohledávané struktuře. Pokud ke shodě nedojde, je vráceno číslo -1.

V ukázce kódu 5.3 lze vidět kód definující metodu `Browse` využívající zmíněnou třídu `JFileChooser`. Pakliže proběhne validní volba, což je ošetřeno kontrolou návratové hodnoty třídy `JFileChooser`, program vrátí cestu ke zvolenému souboru pomocí

této metody Browse.

Výpis 5.3: Metoda Browse, která spouští okno pro výběr souboru

```
1 static String FileName;
2 public static String Browse () throws Exception {
3     final JFileChooser fc = new JFileChooser(".");
4     int returnVal = fc.showOpenDialog(null);
5     File file = null;
6     try {
7         if (returnVal == JFileChooser.APPROVE_OPTION) {
8             file = fc.getSelectedFile();
9         }
10    } catch (Exception e){//Catch exception if any
11        System.err.println("Error:␣" + e.getMessage());
12    }
13    FileName = file.getName();
14    return file.getPath();
15 }
```

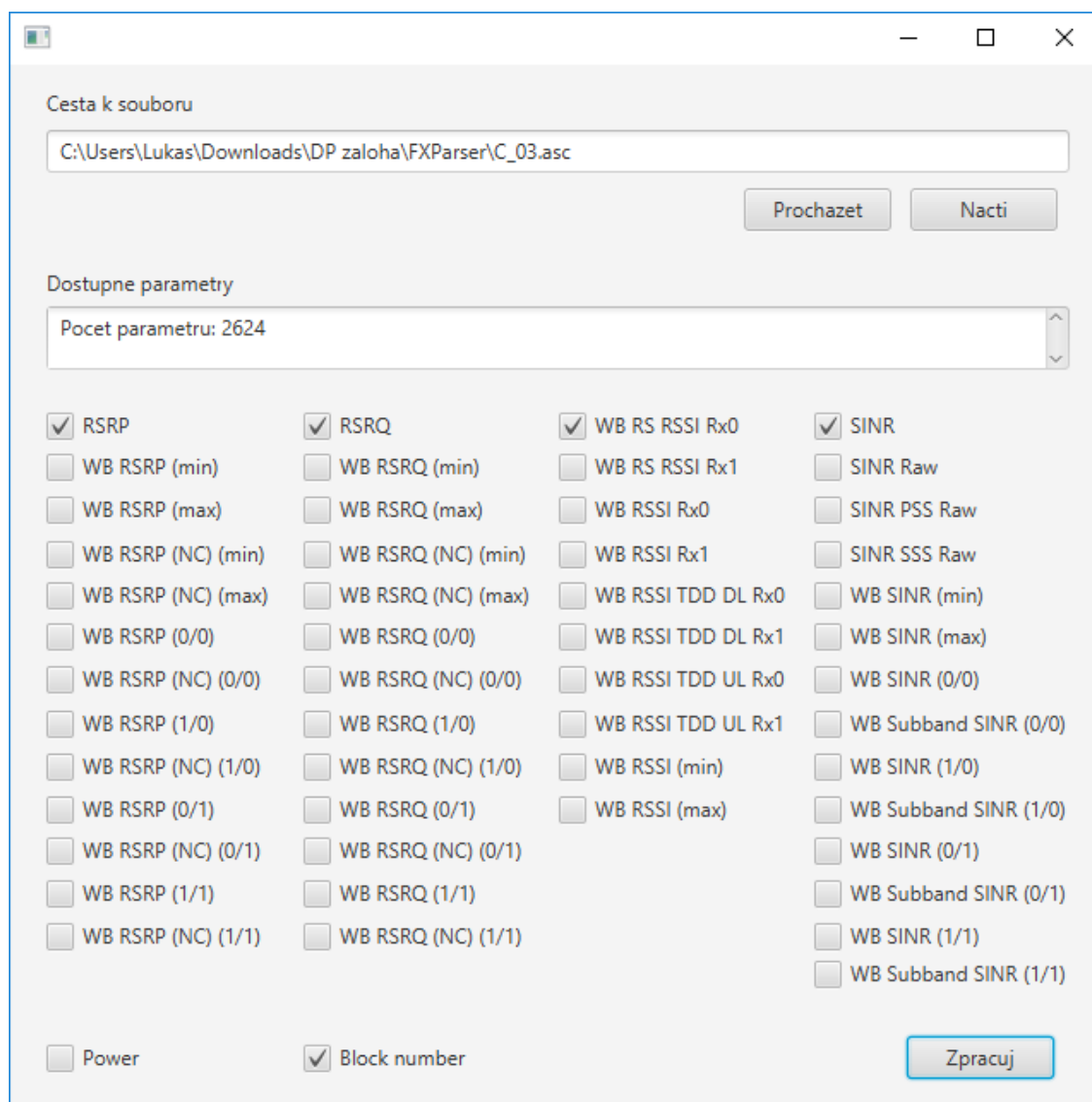
### 5.2.2 Uživatelské rozhraní

Způsob výběru vstupních dat a jejich načtení již byl popsán. Dalším krokem je výběr dat pro následný export. Uživatelské rozhraní programu ROMES parser je rozděleno do dvou pomyslných částí. První část zahrnující výběr souboru obsahuje textbox a ovládací prvky pro procházení disku a následné načtení dat ze souboru. Po zvolení požadovaného souboru se do textboxu vyznačí cesta k vybranému souboru a uživatel tak může vizuální kontrolou potvrdit její správnost.

Druhá část GUI (Graphical User Interface) obsahuje výběr parametrů pro export. Tato část je při startu programu neaktivní a její prvky jsou zaktivovány, až po načtení vstupního souboru. Jako první se do textboxu označeného jako dostupné parametry vypíše počet všech parametrů v souboru, který uživatel vybral.

Pro práci byly vybrány čtyři základní parametry týkající se signálu LTE-A sítí a to RSSI, RSRP, RSRQ a SINR. Každý z nich má svůj sloupec checkboxů, ve kterém se nachází všechny druhy daného parametru. Pakliže je daný parametr obsažený ve vstupním souboru, položka se aktivuje pro výběr.

Uživatel má možnost vybrat libovolný počet dostupných parametrů z každého sloupce. Ve spodní části lze do exportu také zahrnout block number (číslo bloku měření) a hodnotu výkonu signálu (power). Stiskem tlačítka zpracuj se vybrané parametry z celé množiny vstupních dat vyfiltrují a jejich hodnoty jsou zprůměrovány,



Obr. 5.4: Grafické uživatelské rozhraní aplikace

tak aby ke každému bloku měření byla jen jedna hodnota příslušného parametru.

Výstupní data se vypíší do konzole v případě, že je z ní program spuštěn a zároveň se vygeneruje soubor programu Excel (.csv), který se uloží do složky, kde se nachází samotná aplikace ROMES parser.

Počet po sobě jdoucích exportů není nijak omezený, není potřeba program restartovat. Pokud bude ovšem probíhat export dat opakovaně ze stejného souboru, je před každý během potřeba stisknout tlačítko načti, aby se znovu správně inicioval vstupní soubor a resetovaly se proměnné.

### 5.2.3 Zpracování dat a jejich export

Tato sekce bude blíže zaměřena na popis zpracování dat a jejich následný export. Pro efektivní práci s daty je potřeba uložit rozdělené hodnoty na základě středníků mezi nimi do vhodné matice. Běžné dvourozměrné pole v jazyce Java vyžaduje deklaraci své velikosti při vytváření. Jelikož ale není dán fixní počet parametrů ve vstupním souboru, musela být zvolena struktura, která je snadno rozšiřitelná za běhu aplikace a zároveň do ní lze přistupovat pomocí indexů.

Výpis 5.4: Deklarace listu listů pro ukládání a práci s načtenými daty

```
1 static List<List<String>> parametry =  
2 new ArrayList<List<String>>();
```

Pro tento účel dobře poslouží rozhraní List (podrozhnaní rozhraní Collection), do kterého lze snadno vkládat další hodnoty bez úvodní deklarace jeho celkové délky. Aby byla zajištěna dvojrozměrnost tohoto listu je v práci použit list listů. Což znamená že je vytvořeno rozhraní List, které obsahuje další listy.

Rozhraní List musí být vždy deklarováno s konkrétním datovým typem, který ponese. První list má tedy deklarován typ List a další listy v něm vložené jsou deklarovány s typem String. Tyto listy dále obsahují hodnoty jednotlivých parametrů. V tomto konkrétním případě bude každý list reprezentovat jeden řádek dat. Deklarace této struktury je uvedena v ukázce 5.4.

Výpis 5.5: Načtení hodnot ze vstupního souboru do použité datové struktury

```
1 FileInputStream fstream = new FileInputStream(path);  
2 // Get the object of DataInputStream  
3 DataInputStream in = new DataInputStream(fstream);  
4 BufferedReader br = new BufferedReader(new  
5 InputStreamReader(in));  
6 String strLine;  
7 fstream.skip(streamPos);  
8 //Read the Data line by line  
9 while ((strLine = br.readLine()) != null) {  
10     parametry.add(new ArrayList<String>(  
11         Arrays.asList(strLine.split(";"))));  
12 }
```

Čtení vstupních dat probíhá pomocí třídy BufferedReader, která se dá použít pro různé formy načítání dat ze souboru. V případě aplikace ROMES parser se vstupní data načítají po řádcích. Řádky jsou poté rozděleny funkcí split podle středníků

do jednotlivých pozic v příslušném listu. Cyklus while uveden ve výpisu 5.5 řádky načítá a rozděluje, dokud nedojde na konec souboru.

### Přidělení čísla bloku měření

Měření provedené v rámci této práce se skládá z jednotlivých měřících bodů (celkem 142). Na každém z těchto bodů bylo provedeno měření trvající několik minut. Software ROMES ale výsledné hodnoty ukládá do řádků každé tři tisíce sekund. Ve výsledném souboru se proto nacházejí tisícovky řádků a obtížně se určuje, které řádky patří ke kterému měřicímu bodu.

Ke každému bodu měření je tedy potřeba přiřadit odpovídající počet řádků s hodnotami a vytvořit tak samostatné bloky. Mezi každým novým měřícím bodem proběhl přesun měřícího pracoviště, což v praxi zabralo obvykle několik desítek sekund. Měření bylo v čase přesunu pozastaveno a nebyly přidávány další hodnoty.

Mezi bloky je tedy vždy časová mezera, kterou je potřeba identifikovat. Z logiky věci potom vyplývá, že když algoritmus nalezne právě tuto časovou mezeru, může dalším řádkům přiřazovat pořadová čísla dalšího bloku.

Výpis 5.6: Rozdělení vstupních dat na jednotlivé bloky měření

```
1 for (int n = 3; n < parametry.size(); n++) {
2   time = parametry.get(n).get(0).split(":");
3   double SecNow = Math.floor(Double.parseDouble(time[2]));
4   double MinNow = Math.floor(Double.parseDouble(time[1]));
5   double MinRes = MinNow - MinPrev;
6   double SecRes = SecNow - SecPrev;
7   if((SecRes>1 || (SecRes>-59 && SecRes<0))
8   || (MinRes>1 || (MinRes>-59 && MinRes<0))
9   || (MinRes == 1 && SecRes!=-59)) {
10  blockNum++;
11  blockStr = Integer.toString(blockNum);
12  }
13  parametry.get(n).add(blockStr);
14
15  MinPrev = Math.floor(Double.parseDouble(time[1]));
16  SecPrev = Math.floor(Double.parseDouble(time[2]));
17 }
```

K identifikaci těchto rozestupů lze využít časové značky na začátku každého řádku. Nesou vždy informaci o čase, kdy byly pořízeny hodnoty v daném řádku.

Vypočítá se tedy časový odstup právě zpracovávaného řádku od toho následujícího s novým setem parametrů. Demonstrace tohoto algoritmu je ve výpisu 5.6.

Pakliže bude odstup větší než jedna vteřina, jedná se o přechod mezi bloky. Touto metodou tak lze vstupní soubor rozdělit na jednotlivé bloky měření a získat relevantní data vždy jen pro jeden měřicí bod. Jakmile je ke každému řádku přiřazeno příslušné číslo bloku, může program přistoupit k průměrování zvolených hodnot.

### Zprůměrování hodnot pro export

Hodnoty ve vstupním souboru nejsou totiž stále zprůměrovány pro každý blok. Poté, co bylo ke každému řádku přiřazeno odpovídající číslo bloku, může být přistoupeno k průměrování těchto hodnot. Pro zprůměrované hodnoty je v programu vytvořena nová proměnná `List<List<Double>>`, do kterého budou ukládány pouze průměrné hodnoty uživatelem vybraných parametrů. Tento přístup je vhodnější i z pohledu následného exportu vybraných hodnot. Průměr naměřených hodnot v každém měřícím bodě je totiž požadovaný výstup po zpracování dat programem.

Vypočtení průměru je zajištěno algoritmem, který přistupuje do původní databáze všech hodnot a podle pozice vybraného parametru vždy vyčte jeho hodnotu a přidá ji do nového listu v proměnné pro export. Jelikož je potřeba udržovat také přehled o počtu přičtení, vytvoří se další nový list, kde se tato informace uloží do buňky korespondující s buňkou parametru v listu o řád výš.

Celkový počet zaznamenaných hodnot se může totiž mezi parametry lišit. U některých parametrů se může namísto číselné hodnoty vyskytovat pouze řetězec "unknown", "?" nebo "Na". Tyto výskyty je potřeba ošetřit a čítač neinkrementovat. Průměrná hodnota je potom vypočtena dělením hodnot v listu  $n$  hodnotami čítače v listu  $n+1$ . List  $n+1$  se následně vynuluje a použije se pro záznam parametrů z dalšího bloku.

Výpis 5.7: Ukázka výstupních dat

```
BlockNum; RSRP[1] [dBm] : [1]; Power[1] [dBm] : [1];
1; -29.259285714285713; -7.832857142857144;
2; -25.114117647058826; -4.478235294117648;
3; -24.94727272727273; -4.06;
4; -25.435384615384617; -4.44923076923077;
5; -34.01411764705882; -14.011176470588234;
6; -37.12764705882353; -15.492941176470588;
7; -39.37714285714286; -19.15809523809524;
8; -38.57769230769231; -18.229230769230774;
9; -41.141363636363636; -20.89454545454545;
```

Jako formát exportu byl zvolen soubor s hlavičkou nesoucí názvy exportovaných parametrů a dále výpis všech vybraných hodnot ve všech blocích měření. Jednotlivé položky jsou odděleny středníkem, stejně jako tomu je u souborů aplikace Microsoft Excel (formát .csv). Jestliže uživatel do výstupu bude chtít zahrnout i čísla bloků, bude tato informace přidána na začátek každého řádku exportu.

Jelikož může zpracování hodnot trvat několik vteřin, je v programu použit JProgressBar pro zobrazení aktuálního stavu exportování. Uživatel tak v procentech vidí, v jaké fázi se celý úkon zrovna nachází. Po dokončení exportu se stavové okno automaticky zavře a uživatel je informován o ukončení celé úlohy.

## 6 ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce byla zaměřena na analýzu rádiových podmínek bezdrátových sítí umístěných uvnitř budov. Konkrétně byla pozornost soustředěna na mobilní síť LTE-A, kterou má Vysoké učení technické v Brně instalováno v budově Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Měření probíhalo v pásmu 700 MHz, na kterém také vysílají všechny tři základnové stanice experimentální mobilní sítě.

Kapitoly 1 a 2 jsou věnovány teoretickému popisu mobilních sítí a jejich historickému vývoji. Kapitola 2 poté zmiňuje i konkrétní prvky experimentální sítě na VUT a její konfiguraci.

Pro měření a analýzu rádiových podmínek bylo potřeba sestavit mobilní pracoviště. Jako hlavní nástroj byl využit analyzátor R&S TSMW, jehož vlastnosti blíže popisuje kapitola 3. V této části práce jsou také představeny parametry, na které se analýza soustředí. V sekci 3.3 je popsána metodika, která byla pro měření zvolena.

Provedené měření bylo řádně analyzováno a hodnoty vyneseny do grafů. Výsledky jsou i s komentáři zpracovány v kapitole 4. Z výsledných grafů je zřejmé, jak jsou měřené parametry RSSI, RSRP, RSRQ a SINR ovlivněny vzájemnou polohou uživatele a základnové stanice. S rostoucí vzdáleností od vysílače úroveň signálu klesá. Do výsledků se promítla také interference, která v některých místech budovy vzniká kvůli umístění vysílačů nedaleko od sebe.

V sekci věnované výsledkům lze nalézt také srovnání dvou provedených měření. Porovnání všech naměřených hodnot je uvedeno v grafech. Při posuzování vlivu vzdálenosti přijímače od vysílače, bylo v případě konfigurace analyzátoru R&S TSMW se směrovou anténou R&S HL040 dosaženo stejných výsledků jako s anténou Hirschmann MCA 1890MH.

Rozdíl mezi dvojicí antén se projevil v úrovni signálu. Všesměrová anténa Hirschmann vykazuje nižší zisk, což se projevilo na nižší úrovni signálu ve všech měřených parametrech. V průběhu měření byla tato směrovost zohledněna a natočení měřícího pracoviště vždy odpovídalo směru, kde se nachází vysílač. V případě, že by směrová anténa byla natočena jiným směrem, nebyl by její vyšší zisk využit.

Při hodnocení výsledků měření byly hodnoty z analyzátoru porovnány také s výsledky měření z mobilního telefonu Samsung Galaxy S4. Zde se projevila zejména nižší citlivost přijímače v mobilním telefonu. Nedokázal v dostatečné míře zachytit rozdíl v kvalitě signálu a jeho změřená výkonová úroveň byla celkově nižší.

V rámci diplomové práce došlo k analýze rádiového spektra a tyto výsledky byly zpracovány. Data, poskytnutá analyzátozem ve formě prostého textu bez jakéhokoliv formátování, bylo potřeba v případě prvního měření ručně zpracovat do tabulek a posléze vyhodnotit. Při práci s výsledky ze druhého měření byl již využit program



pro zpracování hodnot exportovaných z analyzátoru R&S TSMW.

Tento program nazvaný ROMES parser byl v rámci diplomové práce sestaven a je popsán v kapitole 5. Jedná se o aplikaci psanou v programovacím jazyce Java, která má pro snadnější použití i grafické uživatelské rozhraní. Analyzátor na svém výstupu totiž poskytuje příliš velké množství dat ve formě prostého textu. Tyto data je pro vhodnou reprezentaci nutné zredukovat a průměrovat. Sestavená aplikace slouží právě k tomuto účelu.

Program ROMES parser dokáže ze vstupních dat (exportovaný soubor z analyzátoru) zjistit, jaké parametry jsou v souboru dostupné. Uživatel si z nich může vybrat a zadat je ke zpracování. Pokud bylo měření rozděleno na několik bloků, parser je dokáže identifikovat a patřičně data rozdělit. Na výstupu z programu se poté nacházejí už pouze průměrné hodnoty požadovaných parametrů v konkrétních blocích.

# LITERATURA

- [1] KUMAR, Amit, Dr. Yunfei LIU, Dr. Jyotsna SENGUPTA a Divya. Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G. *International Journal of Electronics & Communication Technology*. 2010, **1**(1). ISSN 2230-7109.
- [2] SAUTER, Martin. *3G, 4G AND BEYOND—BRINGING NETWORKS, DEVICES AND THE WEB TOGETHER*. Second Edition. Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-34148-3.
- [3] JOHNSON, Chris. *Long Term Evolution IN BULLETS*. 1st Edition. CreateSpace, 2010. ISBN 978-1-4528-3464-1.
- [4] AHMADI, Sassan. *LTE-Advanced: A practical systems approach to understanding 3GPP LTE releases 10 and 11 radio access technologies*. 2014, **2014**. DOI: 978-0-12-405162-1. ISBN 978-0-12-405162-1.
- [5] NOVOTNÝ, Vít, Radko KRKOŠ a Jakub ŠEDÝ. *Možnosti využití technologie mobilní sítě 4. generace firmy Huawei*. 2014, , 16-25.
- [6] ROHDE & SCHWARZ. *R&S®TSMW Universal Radio Network Analyzer: Scanner for drive tests and I/Q streaming*. 12.00. 2015.
- [7] R&S®TSMW Universal Radio Network Analyzer. *Rohde & Schwarz* [online]. 2016 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: [https://www.rohde-schwarz.com/us/product/tsmw-productstartpage\\_63493-10072.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/product/tsmw-productstartpage_63493-10072.html)
- [8] *Laroccasolutions: RSRP and RSRQ Measurement in LTE* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://laroccasolutions.com/78-rsrp-and-rsrq-measurement-in-lte/>
- [9] Digi.com. *DIGI* [online]. 2015 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge\\_Base\\_Article/Understanding-LTE-Signal-Strength-Values](http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge_Base_Article/Understanding-LTE-Signal-Strength-Values)
- [10] Choosing a Programming Language. *Microsoft Developer Network* [online]. 2008 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc168615.aspx>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

GSM	Global System for Mobile
GUI	Graphical User Interface
PDA	Personal Digital Assistant
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data-rates in GSM Environment
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Terrestrial Mobile System
HSPA	High Speed Packet Access
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
EPC	Evolved Packet Core
e-UTRAN	Radio Access Network
MME	Mobility Management Entity
PDN-GW	Packet Data Node Gateway
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
MIMO	Multiple Input Multiple Output
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSRP	Reference Symbol Received Power
SINR	Signal plus Interference to Noise Ratio

## 7 OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

K práci náleží rovněž elektronické médium ve formě CD, které lze nalézt na zadní části desek. Nachází se zde elektronická verze diplomové práce a také zdrojový kód vytvořeného programu ROMES parser v jazyce Java. Na médiu je také uložen spustitelný soubor tohoto programu nazvaný "ROMES parser.jar".